



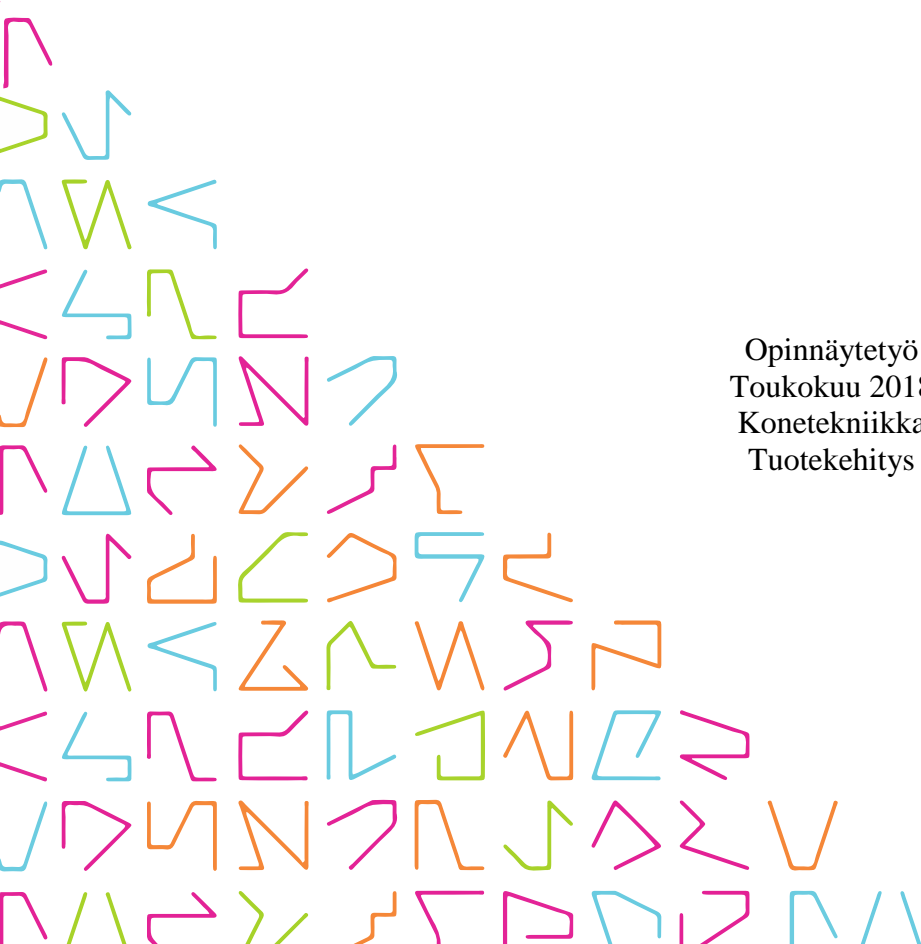
TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

MATERIAALIN VIERIMISONGELMAN VÄ- HENTÄMINEN HIIHNAKULJETTIMISSA

Nousukulmaltaan säädettävän kuljettimen suunnittelu

Timo Ahlgrén

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Konetekniikka
Tuotekehitys



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotekehitys

AHLGRÉN, TIMO:

Materiaalin vierimisongelman vähentäminen hihnakuljettimissa
Nousukulmaltaan säädettävän kuljettimen suunnittelu

Opinnäytetyö 67 sivua, joista liitteitä 13 sivua
Toukokuu 2018

Opinnäytetyössä perehdyttiin hihnakuljettimissa esiintyvään ongelmaan, jossa kuljetettava materiaali vierii alaspäin hihnalla. Opinnäytetyö tehtiin Metso Minerals Oy:lle, ja työn tavoitteena oli selvittää ongelman syyt ja kehittää ongelmaa lieventäviä ratkaisuja kuljettimiin.

Opinnäytetyön tekeminen aloitettiin tekemällä tutkimus, jossa tutkittiin ongelman syntyyn vaikuttavat tekijät ja selvitettiin keinoja, joilla ongelmaa pystytään vähentämään. Tietoa ongelmasta etsittiin asiakkaiden kanssa käydyistä sähköpostikeskusteluista, asiakkaiden luota kuvatuista videoista sekä kirjallisuudesta. Opinnäytetyössä esitellään seula-koneen toiminta, jonka avulla ongelma, sen synty ja tutkimuksen tulokset on helpompi ymmärtää. Tutkimustyön tuloksista esitellään eri seikat, joiden vaikutuksesta ongelma aiheutuu.

Lisäksi työssä suunniteltiin Lokotrack ST3.8 -seulakoneeseen uudenmallisen hihnakuljettimen alarunko ja sen kiinnitykset koneeseen. Työssä tehty suunnittelu toteutettiin Siemensin NX10-suunnitteluohjelmistolla. Tuotekehitystyöstä esitellään kuljettimen layoutin luonnostelua, kuljettimen tuotekehitystä ja suunnittelua sekä syntyneitä ratkaisuja.

Työn lopputuloksena syntynyt runko oli levyrakenteinen, ja sen suunnittelussa painotettiin helppoa valmistettavuutta, rakenteen yksinkertaisuutta ja valmistuskustannuksia. Uuteen runkoon suunniteltiin kannake, jonka avulla kuljetin kiinnitetään koneeseen. Kuljettimen perään suunniteltiin nousukulmaa säätävä mekanismi. Työn lopputulos oli prototyyppi, joka vaatii ympäristönsä uudelleensuunnittelua, minkä vuoksi työssä suunnitelluista osista ei tässä vaiheessa tehdä työpiirustuksia. Työssä syntyneet 3D-mallit ovat sähköisessä muodossa Metson ohjelmistoissa. Työ sisältää SMath Studio Desktop -ohjelmalla laadittuja rakenteen alustavia mitoituskalkelmia, jotka löytyvät liitteistä.

Lopuksi työssä kerrotaan tutkimuksen myötä havaituista keinoista, joilla ongelmaa pystyttäisiin edelleen vähentämään tulevilla konemalleilla. Lisäksi suunnitelluista ratkaisuista esitetään havaitut parannus- ja jatkokehityskohteet.

Asiasanat: seula, hihna, kuljetin, suunnittelu, tuotekehitys, runko, materiaali, laskenta, mekanismi

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Product Development

AHLGRÉN, TIMO:
Reducing Material Rollback in Belt Conveyors
Designing a Conveyor with an Adjustable Slope

Bachelor's thesis 67 pages, appendices 13 pages
May 2018

The purpose of this thesis was to mitigate the problem of material rollback in belt conveyors. This thesis was made for Metso Minerals Ltd. in Tampere, Finland. The objective was to find the causes of the problem, and develop solutions that reduce the problem.

First, the causes of the problem were identified in a short study, and possible means to decrease the amount of rollback were investigated. Information about the problem was gathered from customer emails and videos, as well as from literature. The operating principle of a screening machine is presented to help the reader understand the problem, its origins, and the results of the study better.

Furthermore, a new lower frame structure and mounting solutions were designed for the side conveyor of Metso Lokotrack ST3.8 mobile screening plant. The designing was made using Siemens NX10 software. Product development stages presented include sketching of the conveyor layout, designing of the solutions, and end results.

The designed results include a lower portion of a conveyor frame, a mounting support structure and a mechanism to adjust the slope of the conveyor. No technical drawings were produced at this point. This thesis includes preliminary design calculations, which can be found in the appendices.

Key words: screen, belt, material, conveyor, product development, frame, calculation, mechanism

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	YRITYS.....	8
2.1	Metso Oyj	8
2.2	Metso Minerals Oy	10
3	LOKOTRACK	11
3.1	Lokotrack ST	12
3.2	Seulakoneen toimintaperiaate	13
4	HIHNAKULJETTIMET	16
4.1	Rakenne	16
4.2	Materiaalin vierimisongelma	18
4.3	Teoria	19
5	TUOTEKEHITYS	21
5.1	Työn lähtökohdat	21
5.2	Työn tavoitteet	21
6	TUTKIMUS JA RATKAISUKEINOT	22
6.1	Ympäristön aiheuttamat rajoitteet	22
6.2	Nousukulma	23
6.3	Kuljettimen layout-suunnittelu ja rakenne.....	25
6.4	Materiaalin asettuminen hihnalla.....	27
7	SUUNNITTELU	30
7.1	Nykyinen sivukuljetin.....	30
7.2	Luonnostelu	31
7.2.1	Luonnos 1.....	32
7.2.2	Luonnos 2.....	33
7.2.3	Luonnos 3.....	34
7.2.4	Luonnokset 4 ja 5	35
7.3	Kehitys	37
7.3.1	Alarunko.....	39
7.3.2	Kannattimet	42
7.3.3	Kulmansäätömekanismi	43
8	LOPPUTULOS	46
9	PARANNUSEHDOTUKSET	51
10	YHTEENVETO	52
	LÄHTEET.....	53
	LIITTEET	55
	Liite 1. Taivutusvastuksen vertailulaskentaa.....	55
	Liite 2. Nostomekanismin kuormitusten ja jännitysten laskentaa	58

LYHENTEET JA TERMIT

α	kuljettimen nousukulma
A	pinta-ala, mm ²
B	leveys, mm
CAD	computer-aided design
d	halkaisija, mm
deg	aste, eng. degree, °
eng.	englanniksi
F	voima, N
kuljetinhihna	päättymätön kumipintainen, tekstiilivahvisteinen hihna, jonka päällä kuljetetaan materiaalia
h	paksuus, mm
H	korkeus, mm
hihnakuljetin	laite, joka kuljettaa materiaalia kuljetinhihnan päällä
I	neliömomentti, mm ⁴
K _f	lovenmuotoluku
L	pituus, mm
layout	asemapiirustus
M	momentti, Nm
MPa	megapascal
mm	millimetri
n	varmuuskerroin
N	newton
Nm	newtonmetri
nousukulma	kuljetinhihnan ja vaakatason välinen kulma
q	pituusmatkalle jakautuva kuormitus, N/mm
ripahihna	kuljetinhihna, jonka yläpuoliseen pintaan on kiinnitetty ripoja
R _e	myötöraja, MPa
rollback	ilmiö, jossa kuljetettava materiaali ei etene toivotun kaltaisesti, vaan ajautuu takaisin tulosuuntaansa kohti.
sivukuljetin	kuljetin, joka kuljettaa materiaalia koneen sivulle
seula	laite, jolla erotetaan erikokoiset materiaalit toisistaan
S	staattinen momentti, mm ³

ST	screen track, telaketjuilla kulkeva seulakone
t	levyn tai seinämän vahvuus, mm
tph	tons per hour
W	taivutusvastus, mm ³
σ	jännitys, MPa

1 JOHDANTO

Metso Minerals Oy:llä on pitkä, lähes satavuotias historia kivenkäsittelylaitteiden kanssa. Nykyään Metso on yksi maailman johtavista kivenmurskauslaitteiden ja – järjestelmien valmistajista. Telaketju-alustaisia laitoksia yritys on valmistanut vuodesta 1985 lähtien. Mobiileihin telaketju-alustaisiin Lokotrack-tuotteisiin lukeutuvat myös ST-seulakoneet.

Tarve opinnäytetyöhön tuli asiakkailta, joiden kautta materiaalin vierimisongelma (eng. 'material rollback') tuli tietoon. Rollback on ilmiö, jossa seulottava materiaali ei kulkeudu kuljettimella eteenpäin prosessissa, vaan vierii takaisin tulosuuntaansa kohti, tai jää paikalleen pyörimään. Pahimmassa tapauksessa isommat kivet pomppivat pienemmistä pyöriessään, ja saattavat jopa pudota kuljettimelta. Tässä opinnäytetyössä pyritään vähentämään rollback-ilmion aiheuttamia haittoja ST-koneissa, kuten koneen ylimääräinen kuluminen, osien rikkoontuminen ja kivien pomppimisen aiheuttama turvallisuusriski.

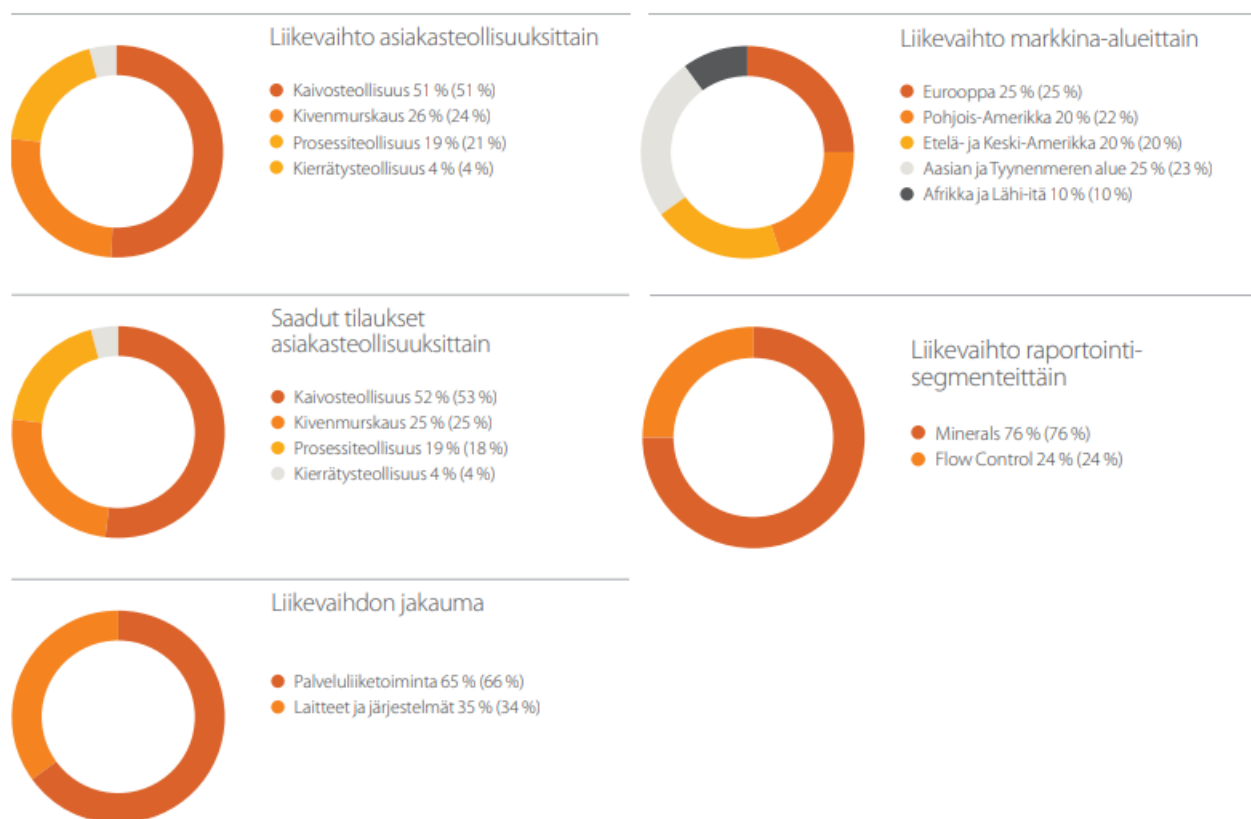
Tämän opinnäytetyön ensisijaisena tavoitteena on vähentää rollback-ongelma sille tasolle, että siitä ei enää koidu haittaa asiakkaalle. Opinnäytetyössä laaditaan tutkimus rollback-ongelman syistä. Työssä raportoidaan tutkimuksen myötä tehdyt havainnot, joiden avulla selvitetään ongelman syntyyn vaikuttavat asiat, joiden pohjalta tehdään ratkaisuehdotuksia. Nämä asiat tulisi ottaa huomioon tulevien konemallien suunnittelussa.

Opinnäytetyössä suunnitellaan nousukulmaltaan säädettävän kuljettimen runko- ja kiinnitysratkaisu ST3.8-koneen sivukuljettimeen ongelman vähentämiseksi. Työssä esitellään syntyneet ratkaisut, joista laaditaan 3D CAD-mallit Siemens NX10-suunnitteluohjelmistolla. Työssä laaditaan myös rakenteen alustavaa mitoituslaskentaa SMath Studio Desktop-ohjelmalla.

2 YRITYS

2.1 Metso Oyj

Metso Oyj on alallansa yksi maailman johtavista teollisuusyrityksistä. Metso syntyi vuonna 1999 Valmetin ja Rauman yhdistymisen seurauksena (Metso Historia). Tänä vuonna Metso juhlistaa 150-vuotista taivaltaan. Metso toimii ympäri maailmaa yli 50 maassa, joissa Metso työllistää tällä hetkellä yli 12 000 työntekijää. Vuonna 2017 Metson liikevaihto oli 2 706 miljoonaa euroa. Liikevaihdon jakautuminen on esitetty kuvassa 1. Metso tarjoaa laitteita sekä palveluja kaivos-, kivenmurskaus-, kierrätys- ja prosessiteollisuudelle. Metson tarjoamat tuotteet ja palvelut keskittyvät luonnonvarojen käsittelyyn ja virtaukseen. (Metso vuosikatsaus 2017, 1-4)



KUVA 1. Metson liikevaihdon ja tilausten jakautuminen vuonna 2017. (Metso vuosikatsaus 2017, 4 & 24)

Kuten kuvasta 1 havaitaan, kaivosteollisuus kattaa yli puolet Metson liikevaihdesta. Kivenmurskaukselle jää noin neljäsosa ja prosessiteollisuudelle viidesosa, kierrätysteolli-

suuden kattaessa viimeisen 4 prosenttia. Metson liikevaihto melko tasaisesti eri markkina-alueille, joka kertoo Metson toiminnan laajuudesta ympäri maailman. Eurooppa suurin markkina-alue 25 % osuudellaan, mutta muut markkina-alueet ovat lähellä perässä. Tulevaisuudessa tilanne saattaa hyvin kääntyä kehittyvillä markkinoilla tapahtuvien muutosten myötä.

Palveluliiketoiminnan osuus on 65 % liikevaihdosta, mikä on todella korkea luku. Tämä kertoo, ensinnäkin, että palveluliiketoiminta on onnistunut tehtävässään. Toisaalta luvusta on pääteltävissä, että taloustilanteen vuoksi asiakkaat eivät investoi uusiin koneisiin, vaan korjaavat vanhoja kulutus- ja varaosilla. Vuoden 2016 jälkeen palveluiden osuus on kuitenkin pienentynyt prosentilla (n. 27 miljoonaa euroa). Tämän voidaan tulkita kertovan laitelausten olevan palveluja nopeammassa kasvussa, sillä vuoteen 2016 nähden palveluliiketoiminnan liikevaihto kasvoi, mutta osuus yhtiön liikevaihdosta laski (Metso vuosikatsaus 2017, 25).

Metson liiketoiminta jakautuu kahteen segmenttiin: Minerals ja Flow Control. Metson toimintamalli uudistettiin 1.1.2018 alkaen. Uuden toimintamallin myötä Metson toiminta jakautuu seitsemään liiketoiminta-alueeseen: Mining Equipment, Aggregates Equipment, Minerals Services, Minerals Consumables, Recycling, Valves ja Pumps. (Metso vuosikatsaus 2017, 14)

Minerals-segmenttiin kuuluvat seuraavat liiketoiminta-alueet: Mining Equipment, Minerals Services, Minerals Consumables, Aggregates Equipment ja Recycling. Minerals-liiketoiminta kattaa 76 % Metson liikevaihdosta (kuva 1). Minerals-liiketoiminnat tuottavat laitteistoja ja järjestelmiä mineraalien käsittelyyn, kuten kivenmurskaus, seulonta- ja jätteenkäsittelylaitteita. Lisäksi Metso tarjoaa kulutus- ja varaosia sekä suunnittelupalvelua asiakkailleen. (Metso vuosikatsaus 2017, 26)

Flow Control -segmentti puolestaan käsittää venttiili- ja pumppuliiketoiminnan sekä niihin liittyvät palvelut. Tärkeimpiä asiakkaita ovat öljy-, kaas-, kemian-, petrokemian-, massa-, paperi- ja kaivosteollisuus. (Metso vuosikatsaus 2017, 26)

2.2 Metso Minerals Oy

Metson Minerals-liiketoiminta tuottaa mineraalinkäsittelylaitteita ja -ratkaisuja, sekä palveluja kaivosteollisuudelle, ja murskaus- ja seulontalaitteita kivenmurskausteollisuudelle. Metso Mineralsin liikevaihto oli 2 070 miljoonaa euroa vuonna 2017. (Metso vuosikatsaus 2017, 26).

Metso Mineralsin keskeisimmät tuotantoyksiköt sijaitsevat Tampereella, Ranskassa, Brasilassa, Kiinassa ja Intiassa. (Tampereen toimintojen yleiskatsaus, 7). Tampereen toimipisteessä keskitytään lähinnä jälkimmäiseen, joka sijoittuu Aggregates Equipment ja Minerals Consumables liiketoiminta-alueisiin.

Metso Minerals Oy:n juuret johtavat vuoteen 1915, jolloin Lokomo Oy perustettiin Tampellan kilpailijaksi valmistamaan höyryvetureita. Yhtiö on historiansa aikana valmistanut lukuisia erilaisia tuotteita, kuten alasimia, nostureita, kaivinkoneita, jyriä, tiehöyliä, metsäkoneita, sukelluspalloja ja –aluksia (Tampereen toimintojen yleiskatsaus, 19). Nykyisiin päätuotteisiin lukeutuvien kivenmurskainten valmistus aloitettiin vuonna 1921. C-sarjan leukamurskain lanseerattiin vuonna 1975. Vuonna 1985 Lokomolla valmistettiin maailman ensimmäinen sarjavalmistainen telaketjuilla kulkeva kivenmurskauslaitos, Lokotrack. (Tampereen toimintojen yleiskatsaus, 18-20)

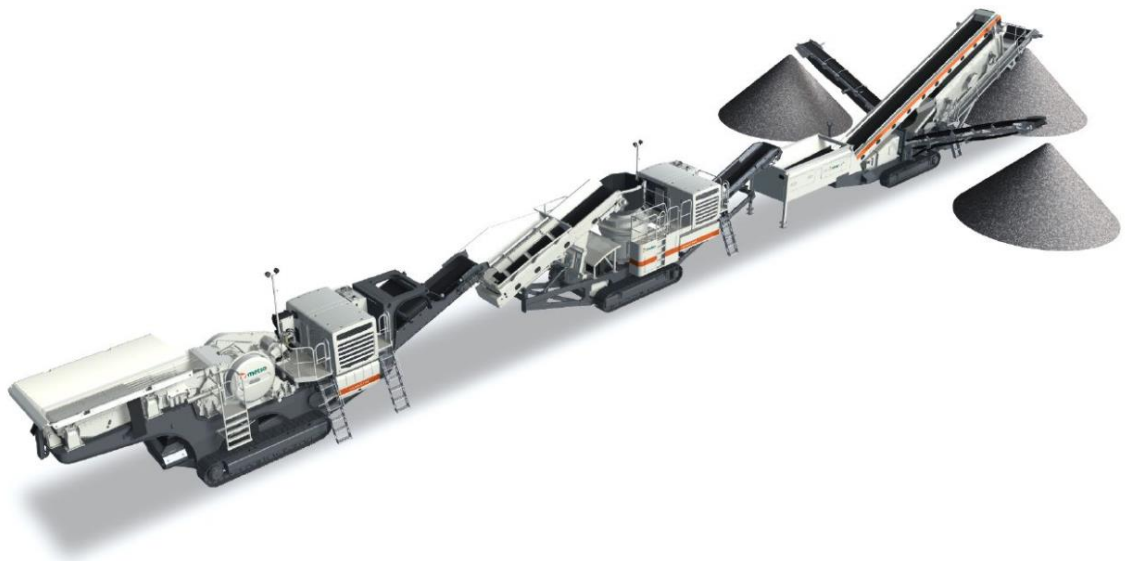
Tänä päivänä Metso valmistaa Tampereella kivenmurskaimia: C-sarjan leukamurskaimia ja GP-sarjan karamurskaimia ja telaketju-alustaisia Lokotrack murskalaitoksia sekä ST-mobiiliseuloja. Kyseisten laitteiden suunnittelu tehdään Tampereella, jonka lisäksi muitakin tuotteita, kuten pyöräalustaisia laitoksia, kaivoslaitteistoja sekä asiakkaille räätälöityjä laitteita suunnitellaan Tampereella. Metson liiketoiminnan ytimen voidaankin olevan murskainten, seulojen ja telaketju-alusteisten laitosten suunnittelussa ja valmistuksessa. (Tampereen toimintojen yleiskatsaus, 22).

Tampereen tehtaalta toimitetaan vuosittain noin 700 murskaus- ja seulontalaitetta, joista yli 90 prosenttia menee vientiin (Tampereen toimintojen yleiskatsaus, 14). Tampereen tehtaan työntekijämäärä oli nousussa vuonna 2017. Heinäkuussa julkaistun Tiina Somerpuron artikkelin (Aamulehti, 2017) mukaan silloinen työntekijämäärä Tampereella oli noin 800 työntekijää.

3 LOKOTRACK

Metso Lokotrack on helposti liikutettavissa oleva kivenkäsittelylaitos, joka koostuu telojen päälle asennetuista moduuleista, kuten syöttimestä, moottorista, kivenmurskaimesta, seulasta ja kuljettimista. Murskalaitokset pienentävät kiveä ja seulalaitokset erottelevat kivimateriaalin lopputuotteiksi, tai eteenpäin prosessissa käytettäväksi. Lokotrack on tamperelainen innovaatio, joka mullisti kivenmurskauksen. Lokotrackista onkin tullut yksi Metson tärkeimmistä tuotteista.

Lokotrakit jakautuvat usean tyyppisiin koneisiin, kuten leuka-, iskupalkki-, ja kartiomurskaimella varustettuihin malleihin ja niiden lisäksi mobiiliseuloihin sekä kustomoituihin laitoksiin. Seuloja löytyy myös murskalaitoksista; esimerkiksi Lokotrack LT220D, LT330D ja LT1213S ovat malleja, jotka on varustettu murskaimen lisäksi seulamoduulilla. Lokotrackeista voidaan muodostaa kokonainen prosessiketju, asettamalla useampi kone toimimaan toistensa rinnalla (kuva 2).



KUVA 2. Lokotrack LT106, LT200HP ja ST3.8 monivaiheprosessissa (Kuva: Metso, 2018)

Vuonna 2017 Lokotrackeja oli valmistettu ja toimitettu maailmalle jo yli 7000 kappaletta (Tampereen toimintojen yleiskatsaus, 15). Jokainen Lokotrack on valmistettu kestäämään vuosikymmeniä, jopa ensimmäinen koskaan valmistettu Lokotrack on yhä päivittäisessä käytössä (Lokotrack® Mobile crushing & screening plants, 2).

3.1 Lokotrack ST

Tampereella tehtaalla on murskainten lisäksi pitkä kokemus myös seulojen suunnittelussa ja valmistuksessa. Erilaisia seulamalleja tuotiin markkinoille jo 1950-luvulla (Törmä 2015, 84). Siirreltävä mobiiliseula omalla voimanlähteellään valmistui vuonna 1966 (Törmä 2015, 115).

ST-mobiiliseulat kuuluvat Metson Lokotrack-tuoteperheeseen. Tampereella telaketju-alustaisten seulojen valmistus alkoi vuonna 2012, jota ennen koneita valmistettiin Metson Irlannin tehtaalla Cappaghissa (Törmä 2015, 216). Mallisto koostuu kuudesta koneesta; ST2.4, ST2.8, ST3.5, ST3.8, ST4.8 ja ST620. Näistä kaksi ensimmäistä ovat tyypiltään esiseuloja, jossa suurikokoinen materiaali kulkee koneen ylitse (kuva 3). Seuraavat kolme mallia puolestaan toimivat esimerkiksi monivaiheprosesseissa ja lopputuotteiden seulonassa (kuva 4). ST620 taas soveltuu korkeaa kapasiteettiä vaativiin käyttökohteisiin.



KUVA 3. Lokotrack ST2.8 toiminnassa. (Kuva: Metso, 2014)



KUVA 4. Lokotrack ST3.8 osana monivaiheprosessia. (Kuva: Metso, 2014)

Materiaalin syöttö koneeseen tapahtuu usein kaivinkoneella, kuljettimella tai pyöräkuormaajalla. Käyttökohteesta riippuen seula voi tuottaa useita erikokoisiksi kalibroituja lopputuotekasoja, tai koneella voidaan esimerkiksi syöttää murskainta. Seulakoneet ovatkin hyvin monikäyttöisiä, ja ne soveltuvat kiviaineksen seulonnan lisäksi useisiin muihinkin käyttökohteisiin, kuten kierrätysmateriaalin seulontaan. Tela-alustaisena koneet ovat helposti siirreltävissä oman moottoriensa avustuksella, eikä ulkoista siirtoapua tarvita. Koneet voidaan myös helposti siirtää paikasta toiseen lavetin avulla.

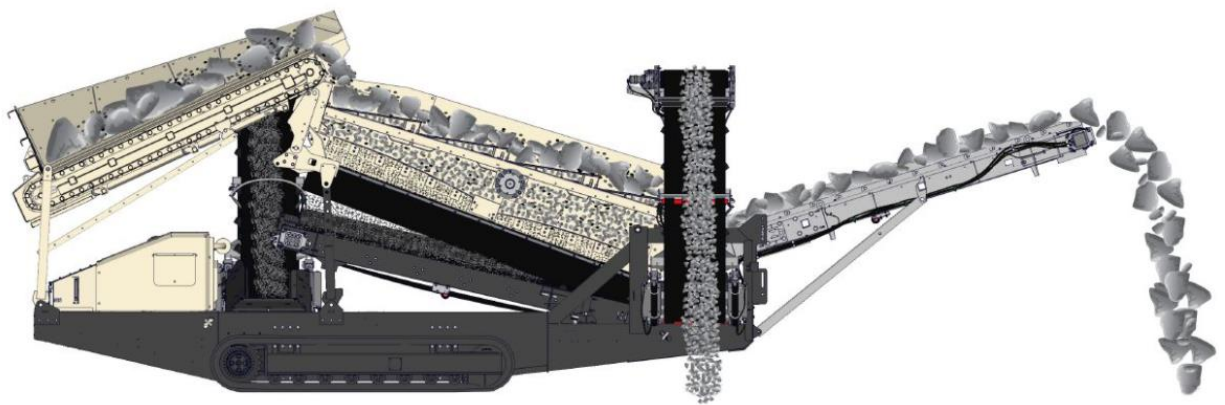
3.2 Seulakoneen toimintaperiaate

Seulonta prosessina on materiaalin koon hallintaan tähtäävä toimenpide. Seulonnassa erotellaan materiaali kahteen tai useampaan tuotteeseen niiden koon perusteella. Murskaimet eivät yksinään ole tarpeeksi tarkkoja kiven pienennysprosessissa, jotta mursketta voitaisiin hyödyntää sellaisenaan. (Basics in minerals processing, 4:1)

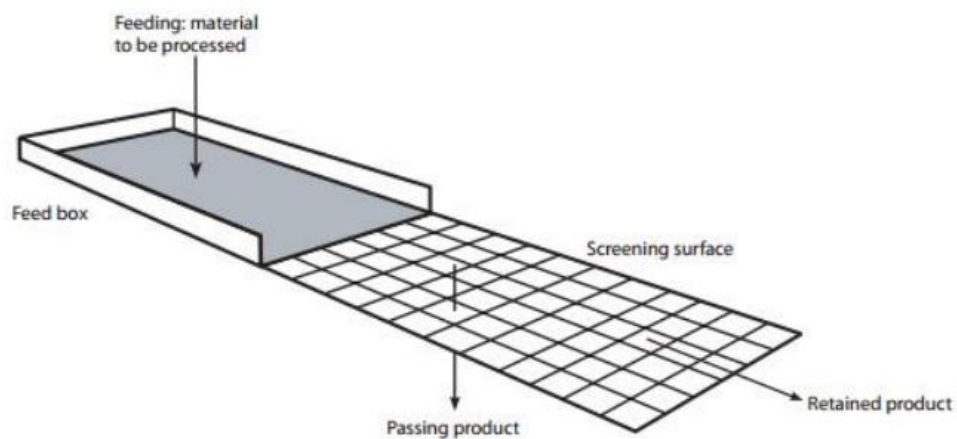
Seulontaa on kolmentyyppistä: esiseulontaa eli alikokoisen materiaalin poistoa (eng. scalping), ylikokoisen materiaalin poistoon murskausprosessista tähtäävää seulontaa (eng. circuit sizing), ja kalibroidun kokoisen tuotteen tuottavaa seulontaa (eng. product sizing). (Basics in minerals processing, 4:1)

Seulonta ST-koneissa tapahtuu täryseulan avulla. Syöttimeen syötettävä seulottava materiaali kuljetetaan syöttävällä kuljettimella eteenpäin syöttimestä. Osassa koneista syöttökuljettimelta materiaali pudotetaan seulalle (kuva 5), osassa koneista välissä on vielä pääkuljetin.

Seulan toimintaperiaate on esitetty yksinkertaistettuna kuvassa 6. Kuvassa oleva syötin on tyypiltään tärysyötin, jollaisia on käytössä esimerkiksi murskalaitoksissa. Syöttimen tarkoituksena on kuitenkin sama: syöttää seulottavaa materiaalia seulalle. Itse seula on periaatteeltaan yksinkertainen: seulontamedia (kuten verkko) päästää lävitseen tietyn kokoisen materiaalin, ja pienempikokoinen materiaali putoaa seulontaprosessissa seulan läpi.

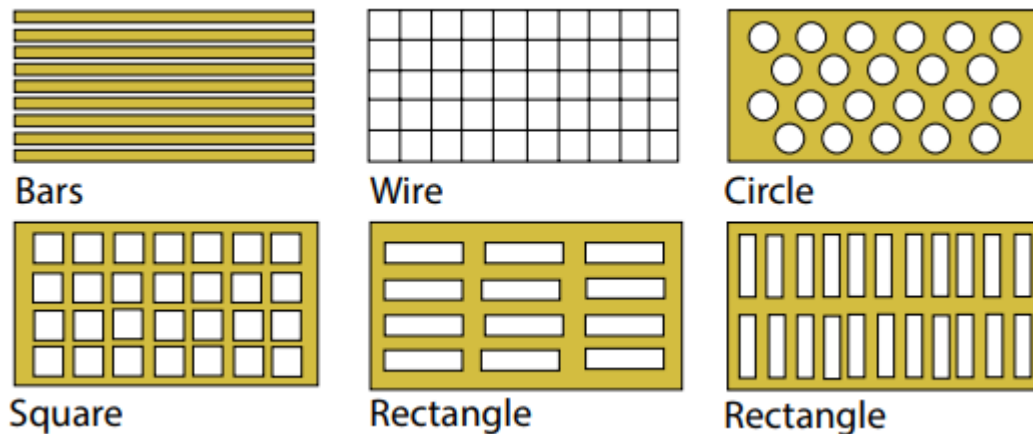


KUVA 5. Lokotrack ST2.8 toimintaperiaate (Kuva: Metso, 2018).



KUVA 6. Seulonnan toiminta yksinkertaistettuna (Viilo 2014, 4–1)

Todellisuudessa asia on kuitenkin hieman monimutkaisempi. Täryseulat ovat varustettu tärykoneikolla, joka saa aikaan seulaa liikuttavan voiman. Seulan liike aiheuttaa seulottavan materiaalin liikkeen seulassa. Lisäksi seulojen suorituskyky riippuu seulan kulma-asennosta ja seulontamediasta. Seulontamediat määräävät, minkä kokoinen ja muotoinen materiaali läpäisee seulan. (Basics in minerals processing, 4:2)



KUVA 7. Erilaisia seulontamedioita. (Basics in minerals processing, 4:2)

Kuvasta 5 voidaan havaita kiviaineksen liike seulassa ja seulan jälkeen. Seulamedian päällä pysyvä materiaali kulkeutuu seulatason päällä seulan läpi, josta se ohjataan suppilolla tuotekuljettimelle. Mikäli seulassa on useampi taso, myös välitasoille jää materiaalia, joka on liian suurta läpäistäkseen alempaan tasoon asennetun, ylempää tiheimmän, seulontamedian. Tämä materiaali ohjataan yleensä omalle kuljettimelleen. Alimman tason alla on yleensä hienoaineskuljetin, jolla koko seulan läpäissyt materiaali kuljetetaan pois koneesta tai toiselle kuljettimelle.

4 HIIHNAKULJETTIMET

Hiihnakuljettimet ovat erittäin suosittuja mineraalien käsittelyssä. Yksinkertaistettuna kuljettimen tehtävänä on siirtää materiaalia paikasta toiseen, ja tähän tarkoitukseen niitä on käytetty jo vuosikymmeniä. Kuljettimet ovat osoittautuneet luotettaviksi ja halvoiksi käyttökustannuksiltaan, minkä vuoksi ne ovat tehokas keino materiaalin siirtoon. Kuljetimilla materiaalin pääsiirtosuunta on vaakatasossa, mutta sen lisäksi niillä voidaan siirtää materiaalia myös pystysuunnassa, kulmien taakse, yli kukkuloiden, laaksojen ja vesien, sekä maan alla. Kuljettimet sulautuvat useisiin prosesseihin, kuten kivenmurskaukseen, seurlontaan, junien ja laivojen lastaukseen, sekä varastointi- ja keräystoimintaan. (Swinderman, Marti, Goldberg, Marshall, & Strebel, 2009, 29)

Kuljettimien on havaittu soveltuvan suuren materiaalikirjon kuljettamiseen; materiaalin koko voi vaihdella suuresta pienikokoiseen jauheeseen, se voi olla painavaa tai kevyttä, kuivaa tai kosteaa, kovaa tai pehmeää, terävää tai pyöreäreunaista. Kuljettimilla voidaan esimerkiksi kuljettaa kiveä, malmia, hiekkaa, soraa, puuta, haketta tai vaikkapa perunastuja. Hiihnan leveys vaihtelee 300-3000 *mm* välillä, ja kuljettimen pituus voi olla muutamasta metrillä jopa kilometreihin. Hiihnakuljettimen kapasiteetti eli materiaalin kuljetuskykyyn (yksikkö *tph* = tons per hour, tonnia tunnissa), vaikuttaa hiihnan leveyden lisäksi sen nopeus ja muoto. Materiaalinkäsittelylaitteista hiihnakuljettimilla on halvimmat kuljetuskustannukset, halvimmat huoltokustannukset, pienin energiankulutus ja pienimmät työvoimakustannukset materiaalitonnin kohti. (Swinderman ym., 2009, 29)

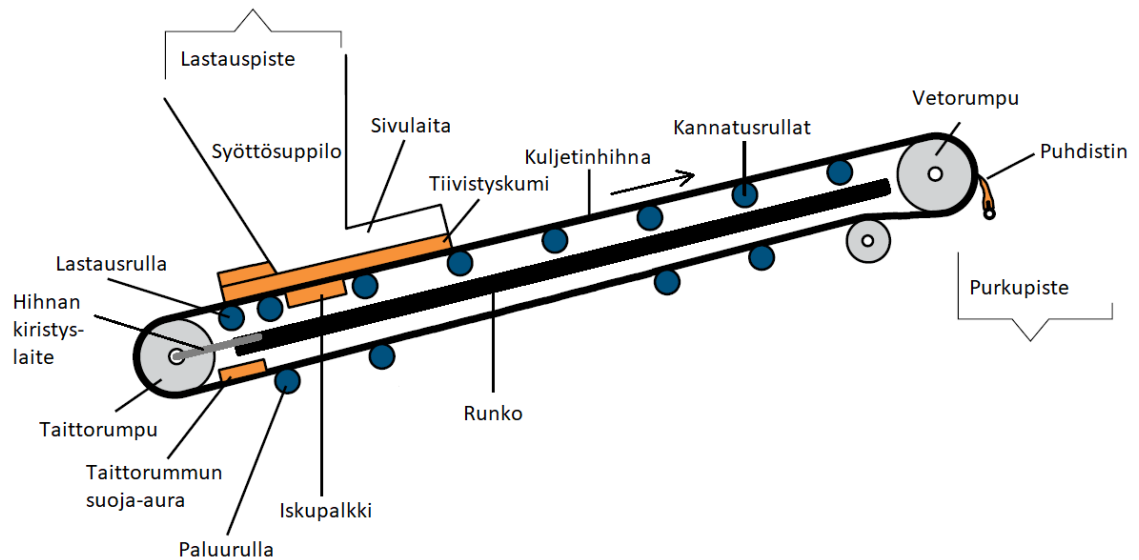
4.1 Rakenne

Kaikki hiihnakuljettimet koostuvat tietyistä pääelementeistä:

1. Kuljetinhiihna: muodostaa pinnan, jonka päällä materiaali liikkuu hiihnan mukana.
2. Rummut: vetorummun avulla välitetään hiihnää liikuttava voima moottorista hiihnaan, ja taittorummun avulla hiihna saadaan palaamaan takaisin kuljettamaan materiaalia.
3. Veto: moottorin avulla pyöritetään vetorumpua ja saadaan aikaan hiihnan liike.
4. Rakenne: tukee, kiinnittää ja asemoi kuljettimen komponentit.
5. Rullat ja tuet: Tukevat hiihnää ja auttavat sen liikkeessä, sekä paluussa takaisinpäin kuljettimen alapuolella.

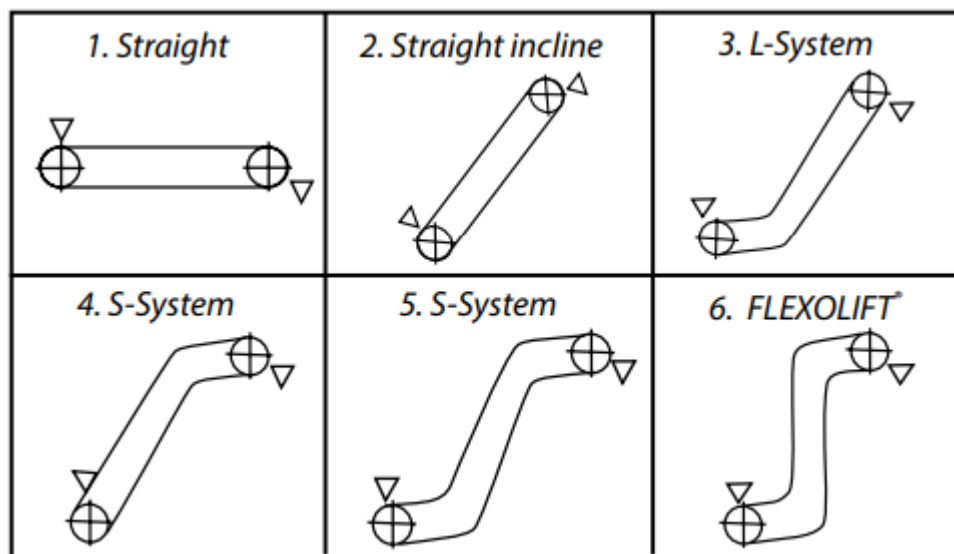
6. Lastaus- ja purkujärjestelmät: näiden avulla materiaali lastataan hihnalle ja puretaan pois hihnalta.

Nämä, sekä muutamia muitakin hihnakuuljettimien tärkeimpiä komponentteja on listattu kuvassa 8. (Swinderman ym., 2009, 30)



KUVA 8. Hihnakuuljettimen pääkomponentit. (Kuva: Swinderman, Marti, Goldberg, Marshall, & Strebel, 2009, 30, muokattu)

ST koneissa sivuhihnakuuljettimet ovat seulatasojen perään asetettuja tuotekuuljettimia, joille materiaali ohjataan seulalta syöttösuppiloiden avulla. Kokoluokaltaan ne ovat alle 10 metrin pituisia, ja kuvassa 9 esiteltujen kuljetintyyppien mukaan luokiteltuna ne kuuluvat tyyppiin 2 alle, eli niiden rakenne on suora taittorummusta kärjen vetorumpuun asti.



KUVA 9. Erilaisia hihnakuuljetintyyppiä. (Basics in minerals processing, 7:16)

Kuljetinhihnoja on olemassa hyvin montaa eri tyyppiä ja mallia. ST-koneiden sivukuljettimissa on tällä hetkellä käytössä ripahihna (engl. Chevron belt), jossa on V-kirjaimen muotoinen kohokuvio. Kyseiset kuljettimet ovat kouruhihnakuljettimia, mikä tarkoittaa hihnan kuljetuspuolta tukevien rullastojen koostuvan vaakasuorasta keskirullasta ja kaltevista sivurullista, joiden johdosta hihnan poikkileikkaus on U-kirjaimen muotoinen (SFS-EN 620 + A1, 14).

4.2 Materiaalin vierimisongelma

Rollback itsessään on melko yksinkertainen ilmiö: kivet lähtevät vierimään taaksepäin alamäkeen kuljettimen päällä. Swinderman ym. (2009, 538) kuvaavat ongelmaa seuraavanlaisesti: ”Rollback: stray pieces of material that roll and bounce backwards down an inclined belt after material flow has been shut off. Or, the downhill motion of an inclined conveyor, running backward when the power is shutoff while the belt is loaded”. Suurikokoisten kivien tapauksessa ilmiö esiintyy myös liikkuvan kuljettimen kanssa, eikä vain viimeisten materiaalipalojen kanssa kuljettamisen päätyä. Toinen osa lainausta kertoo hihnan rollbackista, jossa hihna pyrkii kulkemaan taaksepäin, kun kuljetinta ei liikuteta moottorin voimin. Jälkimmäistä ei pidä sekoittaa kuljetettavan materiaalin rollbackiin.

Perinteisesti kuljettimien ongelmana on materiaalin vuotaminen pois kuljettimelta ei-toivotuissa paikoissa (Swinderman, ym., 2009, 4). Materiaalin rollbackin tapauksessa ongelma ei ole kuljettimelta karkaava materiaali, vaan kuljettimelle ei-toivotusti pyörimään jäävä, sekä kuljettimella väärään suuntaan kulkeva materiaali.

Ongelmasta koituu erilaisia haittoja, kuten koneen ylimääräistä kulumista, tuotannon tehokkuuden heikkenemistä, kasvavat ylläpitokustannukset, mahdolliset konevauriot, ja viimeisenä mutta ei vähäisimpänä, turvallisuusriskit kivien pomppiessa pienemmistä ilmaan, jolloin ne saattavat pudota pois kuljettimelta.

Rollback-ilmiön taustalla on seulakoneen toimintaperiaate, eikä ongelmaa esiinny kaikissa koneiden käyttökohteissa. Esimerkiksi soraa seulottaessa kivimateriaalin raekoko on niin pientä, että materiaali ei pääse vierimään taaksepäin, tai mikäli niin tapahtuu, on ilmiö vähäistä ja sen haitat ovat erittäin pieniä. Suurten kivien tapauksessa haitat ovat

kertaluokkaa suurempia: esimerkiksi pyöreämuotoinen, halkaisijaltaan 150 mm luonnonkivi aiheuttaa pyöriessään suurta vahinkoa jo pelkästään suuren massansa vuoksi. Kivet aiheuttavat kuljettimen rakenteen ja hihnan vaurioita. Väärään suuntaan vierivät kivet saattavat myös päästä kuljettimen rakenteen sisään, jossa ne voivat esimerkiksi jäädä jumiin pilaten koko hihnan, josta seuraa asiakkaalle kallis remontti. Hihnojen lisäksi vierivät kivet rikkovat muun muassa rullia, runkorakenteita ja joissakin tapauksissa esimerkiksi hydrauliiikan liittimiä.

4.3 Teoria

Kuljettimen nousukulmalla on suuri vaikutus painovoiman vaikutukseen kivissä. Kun painovoima jaetaan kuljettimen hihnan suuntaiseen ja sitä vastaan kohtisuorassa oleviin komponentteihin, saadaan selville kiihtyvyys, jolla painovoima pyrkii vetämään kiviä vastakkaiseen suuntaan kuljettimen kulkusuuntaan nähden.

Kuljettimen nousukulman ollessa 24 astetta ja painovoiman ollessa $9,81 \frac{m}{s^2}$, on hihnan suuntainen painovoiman komponentti trigonometrian (Mäkelä, Soininen, Tuomola, Öistämö, 2014, 13) mukaisesti

$$G_x = 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \sin^{-1} 24^\circ = 3,99 \frac{m}{s^2},$$

ja hihnaa vastaan kohtisuora komponentti puolestaan

$$G_y = 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \cos^{-1} 24^\circ = 8,96 \frac{m}{s^2}.$$

Kun kuljettimen nousukulma on 19 astetta, on hihnan suuntainen painovoiman komponentti

$$G_x = 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \sin^{-1} 20^\circ = 3,19 \frac{m}{s^2},$$

ja hihnaa vastaan kohtisuora komponentti taas

$$G_y = 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot \cos^{-1} 20^\circ = 9,27 \frac{m}{s^2}.$$

Viiden asteen loivennus kuljettimen nousukulmaan vaikuttaa siis hihnan tulosuuntaa kohti vaikuttavaan putoamiskiihtyvyyteen merkittävästi; 19 asteen nousukulmalla kiihtyvyys on noin 16 % alhaisempi, kuin 24 asteen nousukulmalla. Loivemmalla nousukulmalla myös materiaalia hihnaa kohti painava painovoimakomponentti hieman suurempi. Nousukulman loivennuksella voidaan vähentää materiaali vierimistä huomattavasti.

Erilaisilla kuljetettavilla materiaaleilla on erilaiset fysikaaliset ominaisuudet. Yksi näistä on luonnollinen kaatumiskulma (eng. angle of repose). Materiaali kasautuu kartion muotoiseksi kasaksi, kun sitä kaadetaan tasaiselle alustalle. Tämän kartion kulmaa alustaan nähden kutsutaan luonnolliseksi kaatumiskulmaksi, johon materiaali asettuu putoamatta alaspäin. (Baer, B., 2018)

Kuljettimella kulkiessaan materiaali altistuu tärinälle, sekä hihnan aaltoilulle hihnan kulkiessa rullien yli (Fenner-Dunlop Conveyor Handbook 2009, 2-2). Tämän johdosta materiaali valuu loivempaan kulmaan, kuin luonnollinen kaatumiskulma. Tätä kutsutaan viettokulmaksi (eng. angle of surcharge). Viettokulma on materiaalista riippuen yleensä 10-15 astetta loivempi, kuin luonnollinen kaatumiskulma. Viettokulma-arvoja eri materiaaleille löytyy taulukoituina useista mitoitusoppaista. Viettokulma vaikuttaa kuljettimella materiaaliin niin poikittais-, kuin pitkittäissuunnassa. Siten kulman tietäminen on oleellista kuljettimen kapasiteetin laskennan kannalta eri materiaalityypeille. Viettokulmalla on vaikutus myös rollbackin kannalta, sillä katkonaisen materiaalivirran johdosta, kun kuljettimella ylempänä olevaa materiaalia ei tueta alhaaltapäin, pyrkii materiaali valumaan alaspäin viettokulmansa mukaisesti. (Swinderman, ym., 2009, 400-401).

5 TUOTEKEHITYS

5.1 Työn lähtökohdat

Tarve työn tekemiseen tuli asiakkailta saadun palautteen kautta, ja opinnäytetyöaihe syntyi palaverissa tuotehallinnan ja suunnittelun yhteisymmärryksessä. Asiakkaan näkökulmasta rollback aiheuttaa ylimääräistä koneen kulumista, rikkoutuneita komponentteja ja ylimääräisiä huoltotoimenpiteitä, sekä kivien pomppimisen aiheuttaman turvallisuusris-kin.

Ongelmaa on esiintynyt kaikissa ST-tuoteryhmän koneissa. Lisäksi rollbackia on esiintynyt muissakin koneissa, joissa kuljettimia on seulojen yhteydessä. Tällaisia ovat esimerkiksi suljetun kierron sovellukset, joissa murskaimelta seulalle tuleva ylikokoinen materiaali kuljetetaan seualta takaisin murskaimeen.

5.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on selvittää rollback-ongelman syyt ja tutkia, millä keinoilla ongelmaa pystyttäisiin vähentämään, rajoittamaan tai poistamaan. Työssä kehitetään ratkaisuehdotuksia ongelmaan, ja mahdollisuuksien rajoissa suunniteltaisiin koneisiin ongelmaa lieventäviä ratkaisuja.

Tavoite työlle on, että sen myötä rollback-ongelma saataisiin vähennettyä tasolle, jossa siitä ei enää koidu haittaa asiakkaalle. Kivien pomppiminen pienemmistä kivistä kuljettimen yläpäässä pitäisi saada kuriin, jotta kivet eivät pääse putoamaan kuljettimelta. Kivet eivät saisi jäädä pyörimään lastausalueen pohjalle hakkaamaan kuljettimen rakenteita.

Työssä kehitettiin ratkaisuja ongelmaan ST3.8-koneen seulan ylätasoon yhdistettyyn sivuhihnakuljettimeen. Tuotekehitys kannattaa saattaa ensin valmiiksi yhteen malliin, josta hyväksi todetut ratkaisut saadaan sovellettua muihin koneisiin.

6 TUTKIMUS JA RATKAISUKEINOT

Ensimmäiseksi työssä lähdettiin perehtymään ongelman juuriin: selvittämään mistä materiaalin rollback johtuu, sekä millä keinoilla sen vähentäminen onnistuu. Tietoa ongelmasta kerättiin asiakkailta saaduista sähköposteista ja asiakkaiden luona kuvattuja videoita ja kuvia katsomalla, sekä kirjallisuutta ja muita lähteitä hyödyntäen.

6.1 Ympäristön aiheuttamat rajoitteet

Kiinteissä laitoksissa kuljettimet voidaan tarvittaessa kustomoida kuljetettavan materiaalin ja käyttökohteen rajoitusten mukaan. Sarjavalmisteisessa koneessa kuljettimien kustomointi käyttökohteeseen ei kuitenkaan ole mahdollista. Asiakkailta on koneille lukuisia erilaisia käyttökohteita, ja samaa konetta saatetaan käyttää täysin erilaiseen tarkoitukseen eri tilanteissa, kuten esimerkiksi urakkatyöissä tilaustöissä. Tämän vuoksi esimerkiksi syöttösuppiloa, hihnaa ja lastausasemaa ei pystytä mitoittamaan millekään tietylle käyttökohteelle tai kuljetettavalle materiaalille.

Mobiilikoneissa mukaan kuvioon astuu myös useita muita rajoitteita, kuten kuljettimen koko, asennusympäristön ahtaus, valmistuskustannukset, rakenteen yksinkertaisuus, sekä vaatimus kuljettimen taitumisesta pieneen tilaan koneen kuljettamista varten. Käytännössä mobiilikoneissa kuljettimet ovat melko lyhyitä verrattuna kiinteiden laitosten kuljettimiin, niiden rakenne on huomattavasti tiiviimpi sekä syöttösuppilot ovat melko yksinkertaisia.

Kuljetusvaatimus asettaa edellä mainituista suurimmat rajoitteet: kuljetin tulee olla helppo siirtää pois tilaa viemästä, jotta kone mahtuu kuljetusmittoihin esimerkiksi kuormalavetille, jossa maksimikorkeus sekä -leveys ovat ennalta määriteltäviä. Nykykoneissa irrotettavat, erikseen kuljetettavat kuljettimet eivät ole sopiva ratkaisu kuljetusongelmaan, sillä tällöin kuljettimet joudutaan kuljetuksen yhteydessä irrottamaan, kuljettamaan erillään koneesta ylimääräisillä laveteilla, ja lopuksi kiinnittämään takaisin paikalleen määränpäässä. Nykykoneissa kuljettimet onkin varustettu taittonivelillä, joiden avulla ne taittuvat kuljetusta varten koneen kylkeä vasten tai koneen yli (kuva 10).



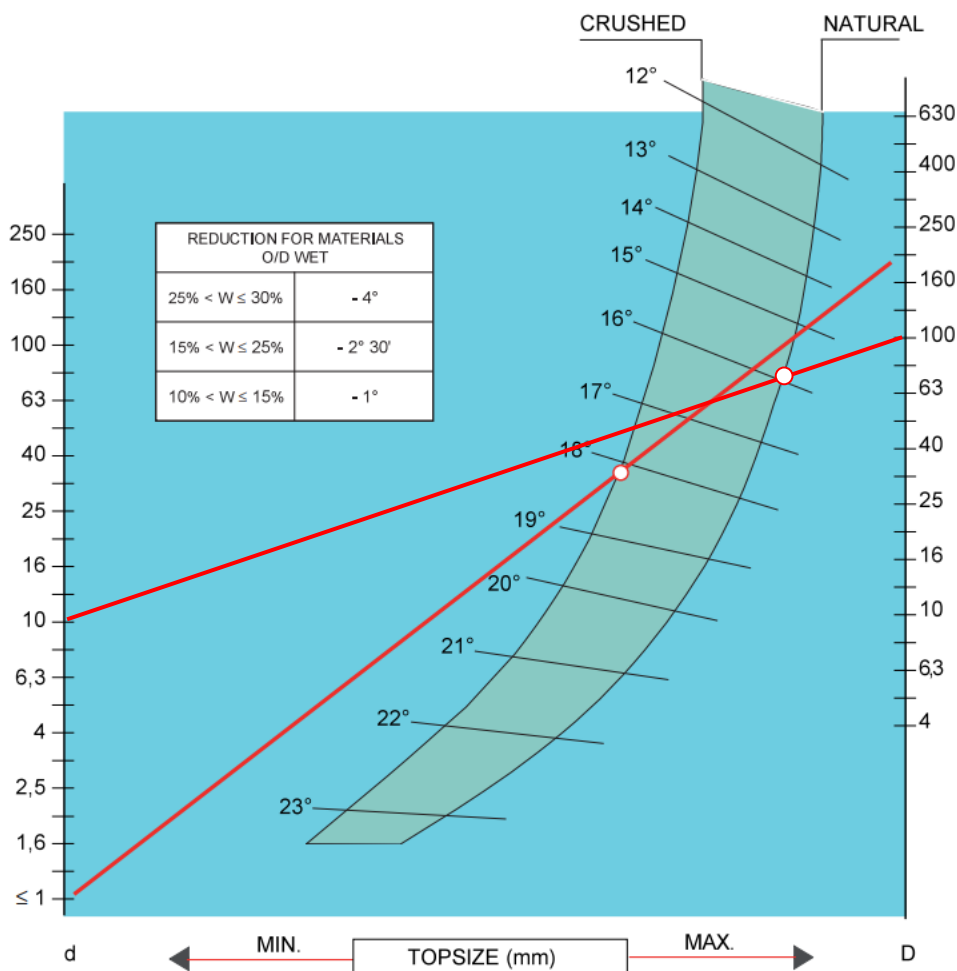
KUVA 10. Lokotrack ST2.8 kuljetusasennossa lavetilla. (Kuva: Metso)

6.2 Nousukulma

Suurin rollbackiin vaikuttava tekijä kuljettimen rakenteessa on kuljettimen nousukulma. Konetekniikan tohtori Shyamal Dey (2015, 82) listaa tärkeimpiä kuljettimien turvallisuuteen vaikuttavia seikkoja, joista tärkeimmäksi hän on valinnut kuljettimen nousukulman rollbackin vuoksi: ”Slope of conveyors should be designed in such a way that materials should not rollback.” Suomennettuna edellinen tarkoittaa, että kuljettimien nousukulma tulisi suunnitella siten, että materiaalit eivät pääse vierimään takaisin kuljettimella.

Kohdan 3.3 teoriaosuudessa selvitettiin hieman fysiikkaa nousukulman vaikutuksesta kivien kuljettamiseen. Kuviossa 1 on esitetty kaavio, jossa esitetään erikokoisten kivilajien maksimi nousukulma hihnakuljettimella. Kuvaan piirretään viiva kuljetettavalle kivilajikkeelle pienimmän ja suurimman kokoisten kivien kohdalle, ja katsotaan nousukulma joko murskattujen kivien tai luonnonkivien käyrältä. Esimerkiksi jos kuljetettavan lajikkeen pienimmät kivet ovat 10 mm kokoisia, ja suurimmat taas 100 mm kokoisia, antaa kuvaaja maksimi nousukulmaksi luonnonkiville hieman alle 16 astetta. Kuvaaja on tehty sileälle kuljetinhihnalle, ripahihnoilla nousukulma voi tyypillisesti olla noin kolmesta viiteen astetta jyrkempi (Savatech Chevron Conveyor Belts, 2018). Lisäksi myös useissa kuljetinhihnavalmistajien katalogeissa ja suunnitteluoppaissa on taulukoituna erilaisille materiaaleille toimiviksi havaittuja maksiminousukulmia. Esimerkiksi Fenner Dunlop Conveyor Handbookin (2009, 2-10) taulukon mukaan suurikokoisten kivien maksiminousukulma on myöskin 16 astetta.

Maximum conveyor slope according type of material



KUVIO 1. Kuljettimen maksiminousukulma eri materiaalityypeillä. (Kuva: Viilo 2014, 5–8)

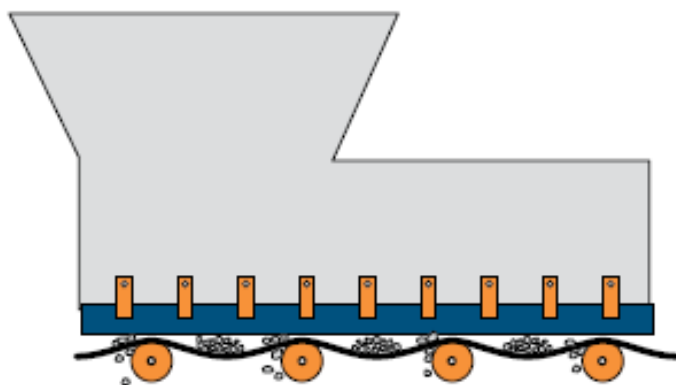
Kuviosta 1 voidaan havaita maksiminousukulman olevan suuri, jos kuljetettava materiaalityyppi sisältää hyvin pienikokoista materiaalia. Jos pienimmätkin yksittäiset mineraalit ovat suurikokoisia, tulee maksiminousukulman olla huomattavasti loivempi. Kun kuljetinta käytetään useiden erilaisten, ennalta määrittelemättömien materiaalien kuljettamiseen eri käyttötilanteissa, ei kiinteä jyrkkä nousukulma ole optimaalinen ratkaisu.

Kosteissa olosuhteissa kuljettimen nousukulman tulisi olla kuivia olosuhteita loivempi, kuvioon 1 merkatun taulukon mukaan kosteusprosentista riippuen yhdestä neljään astetta. Tämä ei tietenkään koske kaikkia materiaaleja: jotkut materiaalit ovat kosteina esimerkiksi savimaisia, ja tarttuvat kiinni hihnaan tiukemmin. Myös jäisissä olosuhteissa nousukulman tulisi olla loivennettu, kun hihna ja materiaalit ovat liukkaita.

6.3 Kuljettimen layout-suunnittelu ja rakenne

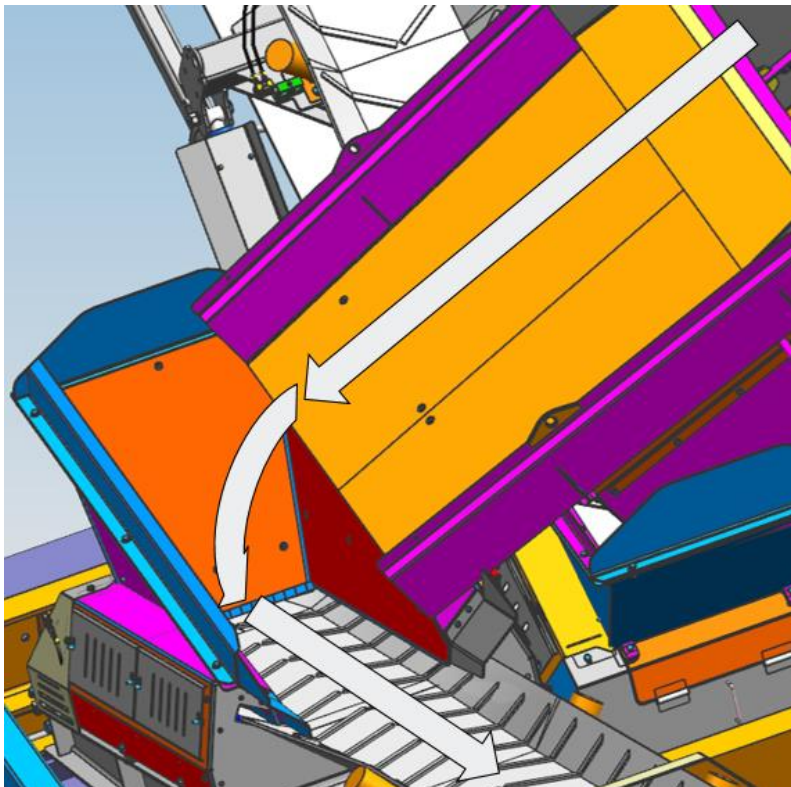
Kuljettimen rakenteessa on useita ongelman syntyyn vaikuttavia tekijöitä. Kuvassa 9 on esitetty erilaisia kuljetintyypppejä. Näistä tyypeistä rollbackin kannalta L-mallinen tyyppi 3 olisi tyyppin 2 suoraa kuljetinta optimaalisempi rakenneratkaisu. Loivempi lastausalue mahdollistaa kivien paremman asettumisen hihnalle, jolloin ne eivät ala pyörimään heti kuljettimelle pudotessaan, keskittyvät hihnalle paremmin ja saavuttavat hihnan nopeuden ennen nousun aloittamista. Lastausalueen rakenne on olennaista myös, jotta materiaali saadaan asettumaan hihnalle optimaalisesti, eli materiaali sijaitsee hihnalla keskitetysti ja se on hihnaan nähden paikallaan. Lastausalueen laidat sekä syöttösuppilo tulisi sijoittaa ja muotoilla siten, että materiaali lastataan hihnan keskelle.

Lastausalueella hihnaa tukevat rullat voivat aiheuttaa häiriöitä hihnalla kulkeviin kiviin (kuva 11). Kohdan 3.3 mukaisesti rullien yli kulkevan hihnan aaltoilut aiheuttavat materiaalin luonnollisen kaatumiskulman vähenemisen viettokulmaksi. Tämä aaltoilu saattaa aiheuttaa kiviin ylimääräistä liikettä, mikä aiheuttaa osaltaan rollbackia. Aaltoilua voidaan vähentää tiettyyn pisteeseen asti hihnan kiristyksellä. Lastausalueella myös suppilolta putoavat kivet aiheuttavat hihnaan pystysuuntaista roikkumaa, ja pahentavat aaltoilua. Kun kivet putoavat rullien välissä roikkuvalle hihnalle, ympäröiviin kiviin tapahtuu trampoliinimaista liike-energian siirtymistä. Metso Conveyor Solutions Handbookin (2017, 72) mukaan jokaisessa kaivos- ja kivenmurskaussovelluksessa kuljetinhihnat, -rungot ja -rullat altistuvat säälimättömille voimille ja iskuille päivästä toiseen. Lastausalueen stabilisoimiseksi toimiva ratkaisu voisi olla rullien tilalle asennettavat iskupalkit. Iskupalkit koostuvat metalliseen kiinnitykseen vulkanoidusta kumista, joka vaimentaa materiaalin lastauksen aiheuttamia iskuja. Myös iskuja vaimentavasta materiaalista valmistetut rullat voivat olla toimiva ratkaisu.



KUVA 11. Materiaalin hihnaan aiheuttama roikkuma ja aaltoilu rullien välissä. (Kuva: Swinderman ym. 2009, 131).

Syöttösuppilolla on suuri merkitys materiaalin asettumiseen hihnalle. Mobiiliseuloissa tilan vähyys ja koneen layoutin vuoksi kuljettimet joudutaan asettamaan seulaan nähden poikittaissuuntaisesti, eli seualta tulevan materiaalin kulkusuunta kääntyy 90 astetta seulan päädyn ja kuljettimen lastausalueen välillä (kuva 12).



KUVA 12. Syöttösuppilon ja kuljettimen välillä materiaalin kulkusuunta muuttuu.

Materiaalin kulkusuunnan muutos aiheuttaa häiriöitä materiaalin käyttäytymisessä. Kulkusuunnan vaihdoksessa materiaalin pitkittäissuuntainen liike sekä mahdollinen pyöriminen tulisi saada pysäytettyä, ennen kuin materiaalia aletaan kuljettamaan toiseen suuntaan. Syöttösuppilolta tuleva materiaali on kuitenkin kulkenut jyrkässä kulmassa olevan tärisevän seulan läpi, josta se putoaa suppilon päältä kuljettimen lastausalueelle. Seulan ja lastausalueen välistä suppiloratkaisua tulisi mahdollisesti miettiä uudelleen kiinteiden laitosten syöttösuppiloiden suunnittelumetodien kannalta tarkasteltuna.

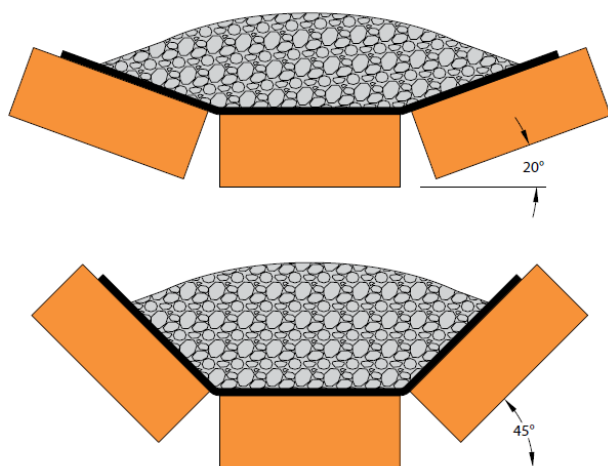
Nykyistä ratkaisua voisi parantaa esimerkiksi hidastusverhon lisääminen lastausalueen keskelle. Seualta tuleva materiaali törmäisi suppilolta pudotessaan hidastusverhoon, josta se putoaisi alas kuljettimen lastausalueelle. Näin saataisiin kappaleiden liike-energiaa vähennettyä ja materiaalin levottomuus lastausalueella vähenisi.

6.4 Materiaalin asettuminen hihnalla

Materiaalin asettumiseen hihnalle vaikuttaa syöttösuppilon ja lastausalueen lisäksi useita tekijöitä:

- Hihna ja rullat
- Materiaalin koko, muoto ja viettokulma
- Materiaalin määrä ja syöttö

Rullilla on suuri merkitys materiaalin asettumiseen hihnalla. Suuremmalla rullien kourukulmalla kuljettimen kapasiteetti kasvaa, ja materiaali sijoittuu kapeammin leveyssuunnassa (kuva 13). Erityisesti kapasiteetti kasvaa materiaaleilla, joilla on pieni viettokulma, kuten pyöreät luonnonkivet. Suurempi rullakulma saa siis materiaalin sijaitsemaan tiiviimmin hihnan keskellä, mikä vähentää kivien vierimistä. Suuremmalla kulmalla olevat sivurullat saavat myös hihnan reunan sijaitsemaan korkeammalla keskirullaan nähden, mikä vähentää materiaalin hihnalta putoamisen todennäköisyyttä. Haittapuolina suuressa kourukulmassa on hihnan suurentuneet taipumat, kun hihna taivutuu kourulta suoraksi veto- ja taittorummuilla. (Swinderman, ym., 2009, 80-81).



KUVA 13. Rullien kourukulman vaikutus kuljettimen kapasiteettiin. (Kuva: Swinderman ym. 2009, 80).

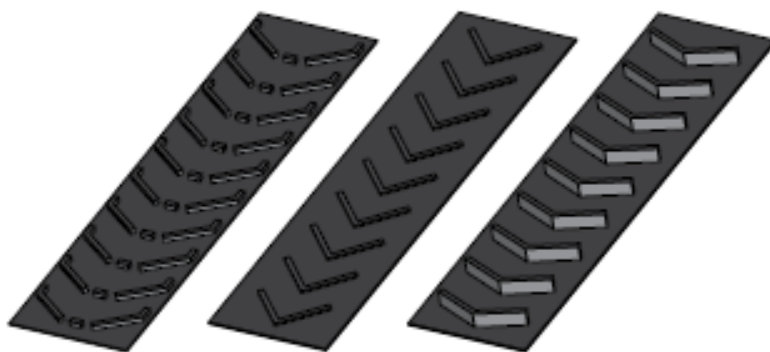
Hihnan maksimikapasiteetti määrittää kuljettimen kuormitusasteen. Mikäli kuljettimen maksimikapasiteetti on esimerkiksi 500 tonnia tunnissa jollakin hihnanopeudella, mutta kuljettimella kuljetetaan materiaalia vain 100 tonnia tunnissa, on kuljettimen kuormitus-

aste tällöin 20 %. Jotta hihnalla olisi materiaalia tarpeeksi, ettei materiaali pääse vierimään lähes tyhjällä hihnalla, tulisi kuormitusasteen olla jatkuvasti yli 50 %, jolloin kivet nojaavat ympärillään sijaitsevaan materiaaliin.

Hihnanopeutta laskemalla voidaan vähentää kuljettimen maksimikapasiteettia, jolloin kuljettimelle syötettävä materiaali jakautuu pienemmälle pituusmatkalle hihnalla. Nopeuden pysyvässä alentamisessa on kuitenkin usein rajoitettua. Usein materiaalin syöttö hihnalle on katkonaista johtuen muutamista syistä. Yksi näistä on koneen katkonainen syöttö, jossa esimerkiksi pyöräkuormaajalla syötettävän koneen syötin ehtii tyhjentyä, ennen kuin kuormaaja syöttää koneeseen uuden kauhallisen materiaalia. Toinen syy kuljettimen katkonaiseen syöttöön on materiaalin kokojakauma; kauhallisessa syötettävää materiaalia voi olla esimerkiksi hyvin vähän suurikokoista ainetta, jolloin sivukuljettimelle ei päädy kuljetettavaa materiaalia.

Katkonaisen syötön vuoksi sivukuljetin saattaa pyöriä useita minutteja tyhjänä tai lähes tyhjänä, jolloin hihnalla olevat yksittäiset kivet pääsevät vierimään ja hyppimään kuljettimella aiheuttaen vaurioita. Toisaalta taas kuljettimelle saattaa tämän jälkeen tulla seulan täyden kapasiteetin verran kuljetettavaa materiaalia, jolloin hihnanopeuden tulee olla suuri. Kuljettimissa olisikin hyvä olla säätävä hihnanopeus, johon nykyinen manuaalinen venttiilillä toteutettu ratkaisu ei ole optimaalinen.

Hihnakuuljettimiin on saatavilla laaja kirjo erilaisia hihnoja (kuva 14). ST-koneissa on käytössä V-kuvioitu ripahihna (eng. chevron belt), jossa hihnan keskelle on vulkanoitu 15 mm korkeita V:n muotoisia ripoja (Kuva 15). Ripahihnat mahdollistavat sileää hihnaa korkeammat nousukulmat. Ripojen tarkoituksena on estää materiaalin liukuminen taaksepäin hihnalla. (Swinderman, ym., 2009, 80-81).



KUVA 14. Erilaisia ripahihnoja. (Kuva: Swinderman ym. 2009, 81).



KUVA 15. ST-koneissa käytössä oleva ripahihna. (Kuva: Metso)

Rollbackin kannalta ajateltuna 15 mm korkea ripa ei ole riittävän korkea pysäyttämään erimerkiksi taaksepäin vierivää tai liukuvaa, halkaisijaltaan 150 mm kiveä. Tässä tapauksessa kivi kohtaisi matalan esteen ja joko pyörähtäisi tai hyppäisi sen yli. Rollbackin täydelliseen estoon tarvittaisiin rivat, jotka ovat suurimman kuljetettavan kiven säteen korkeiset. Sarjavalmisteisessa koneessa on kuitenkin otettava yleiskäyttöisyys ja kustannukset huomioon, ja kyseisenlainen hihna olisi kallis, sekä epäoptimaalinen pienikokoisen materiaalin kuljettamiseen. Lisäksi siitä koituisi ongelmia kuljettimen suunnittelun ja kuljetusleveyteen mahtumisen kanssa, rumpujen halkaisijoiden tulisi olla huomattavasti suuremmat, sekä lastausalueen tiivistäminen hankaloituisi merkittävästi.

Ripojen muotoilulla voitaisiin mahdollisesti lieventää rollbackista koituvaa haittaa. Eri-tyisen hyödyllisiä voisivat olla hihnät, joissa on V-kuvion reunoilla pitkittäissuuntaisia ripoja. Tällaiset rivat estäisivät kivien kulkua kohti hihnan reunaa. Kyseisenlainen hihnakuviointi esiintyy kuvassa 14 vasemmanpuoleisena.

Ripahihnojen puhdistaminen on hankalaa: rivat ovat korkeampana kuin hihnan pinta, joten tavallisen hihnan puhdistamiseen tarkoitettu kaavin pyrkisi kaapimaan materiaalin lisäksi myös rivat irti hihnasta. Harjapuhdistimet taas täyttyvät helposti tukkoon hienojakoisesta materiaalista. Likainen hihna voi olla hihnan ja kuljetettavan tavarain materiaaleista riippuen liukkaampi kuin puhdistettu hihna, joka saattaa lisätä kuljetettavan materiaalin liukumista ja pyörimistä. (Swinderman, ym., 2009, 218-220).

7 SUUNNITTELU

Työssä tehdyn tutkimuksen perusteella päädyttiin siihen tulokseen, että kiinteään kulmaan asetettu kuljetin ei ole riittävän joustava erilaisten materiaalien kuljettamiseen. Tämän perusteella ongelmaa lieventävien ratkaisujen suunnittelemista nykyisiin kuljettimiin ei pidetty järkevänä. Tutkimusvaiheen päätteeksi työssä päätettiin katselmoinnissa työn ohjaajien kanssa yhteisesti lähteä kehittämään uudenmallista kuljetinta ST3.8 koneeseen.

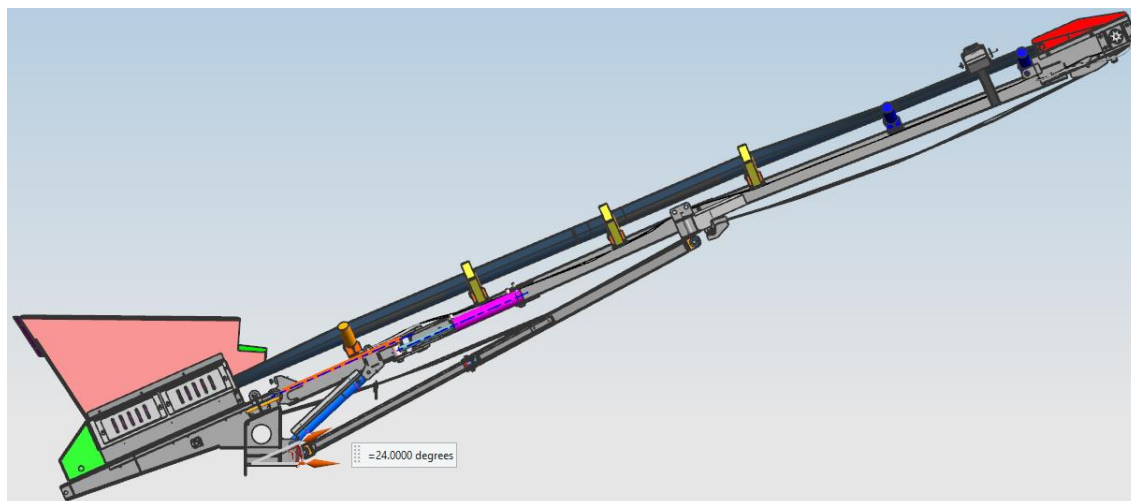
Työssä tulisi suunnitella olemassa olevaan tilaan ja koneen runkoon yhteensopiva kuljetin, jonka nousukulma olisi säädettävä ja lastausalue olisi aiempaa loivemmassa kulmassa. Tavoitteeksi asetettiin uuden alarungon, kiinnityksen sekä lastausalueen suunnitteleminen kuljettimeen. Lastausalueen tulisi olla aiempaa loivemmassa kulmassa, jotta kivet eivät jää pyörimään lastausalueen pohjalle. Kuljettimen nousukulman tulisi olla säädettävä, jotta kone soveltuisi joustavammin erilaisiin käyttökohteisiin. Kiinnityksen toivottiin olevan yhteensopiva vanhan kuljettimen kiinnityskohtien kanssa. Lisäksi olisi toivottavaa, että kuljetin saataisiin taitettuna kapeampaan tilaan, jolloin kone mahtuisi kolmen metrin kuljetusleveyteen nykyisen 3,2 metrin sijaan.

7.1 Nykyinen sivukuljetin

Lokotrack ST3.8 koneen nykyisen sivukuljettimen tapauksessa (kuva 16) kuljetin kiinnitetään alarungostaan pulttiliitoksilla telakoneen runkoon. Kuljettimen nousukulma on 24 astetta, joka loivenee muutamalla asteella ennen kuljettimen latvaa. Latvan taitto kuljetusasentoon toteutetaan kolmella hydraulisylinterillä ja alapuolisilla tukiputkillä.

Kuljettimen nousukulman muuttaminen säädettäväksi vaatisi koko kuljettimen uudelleen suunnittelun. Latvan asettaminen loivempaan kulmaan olisi mahdollista tekemällä muutoksia rakenteisiin, mutta tällöin lastausasema olisi edelleen jyrkässä kulmassa, mikä ei ole toivottavaa.

Kuljettimen rakenne on myös melko monimutkainen osamäärältään ja valmistettavuudeltaan, joihin opinnäytetyössä pyritään löytämään parannuksia. Työssä suunniteltavan ratkaisun toivottiin yksinkertaistavan rakennetta ja siten alentavan valmistuskustannuksia.



KUVA 16. Lokotrack ST3.8 nykyinen sivukuljetin.

7.2 Luonnostelu

Luonnosteluvaihe aloitettiin tarkastelemalla vanhaa kuljetinta ja uudempaa, prototyyppiä jäänyttä kuljetinmallia, sekä kuljettimen asennuskohdan ympäristöä koneessa. Näin saatiin selville suunnitteluun vaikuttavat mahdollisuudet ja rajoitteet. Alustavana ideana oli kiinteän kiinnityksen sijaan käyttää niveltuettua kuljettimen rungon kiinnitystä koneen runkoon. Nivelen sijoituspaikkoja oli useita mahdollisia, joista toinen oli kuljettimen taittorummun takana, ja toinen lastausalueen jälkeen kuljettimen alapuolella. Kuljettimen runkoa tulisi madaltaa, jotta lastausalue saataisiin loivempaan kulmaan ja jotta kuljettimen kulman säätäminen onnistuisi.

Yksi vaihtoehto oli pitää kiinteä kuljettimen kiinnitys runkoon, ja toteuttaa kulmansäätö latvan nivelöinnin avulla. Tämä on kuitenkin ratkaisuna kompromissi, sillä ala- ja ylärungon välinen kulma nousee liian suureksi, jos lastausalue on vaakatasossa. Lastausalue pitäisi siis asettaa nousevaan kulmaan, mikä on ei-toivottavaa. Rungon linjassa säädön myötä tapahtuvat kulmamuuotokset aiheuttavat myös ongelmia rullastojen suunnittelun ja hihnan asettumisen kannalta näin lyhyessä kuljettimessa. Liian suuri kulmamuuotus lyhyellä matkalla aiheuttaa hihnan nousua irti rullastoista. Metsolla ollaan havaittu, että yhdellä kulmanmuutoksella voidaan muuttaa hihnakuuljettimen rungon osien välistä kulmaa maksimissaan 11 astetta, tätä suuremmilla asteluvuilla on havaittu ongelmia. Tätä arvoa pidettiin siis rajana kulmamuuotoksille kuljettimen suunnittelussa.

Tarkasteluissa havaittiin, että kuljettimen keskiosan runko kannattaisi myös suunnitella uudelleen alarunkoon tehtävien muutosten myötä. Tämän myötä syntyi ideoita paitsi kuljettimen keskiosan, myös latvan taittamiseen; kuljettimen rungon nivelten toteutuksiin ja sijoittamisiin luonnosteltiin muutama idea.

Kulmansäädön toteuttaminen osoittautui pikaisen perehtymisen perusteella luultua haastavammalta. Kuljetin on pitkä ja painava, mistä aiheutuu suuri momenttikuorma sen kiinnitykseen. Latvan taitto taas aiheuttaa käännön yhteydessä ja käännettynä suuren momenttikuorman toiseen suuntaan. Kulmansäädön myötä kiinteät kiinnityspisteet tulisi korvata niveltuennalla toisessa, ja korkeudeltaan säädettävällä tuennalla toisessa päässä kuljettimen alarunkoa. Suuret kuormitukset aiheuttavat hankaluuksia kiinnityksen suunnittelussa.

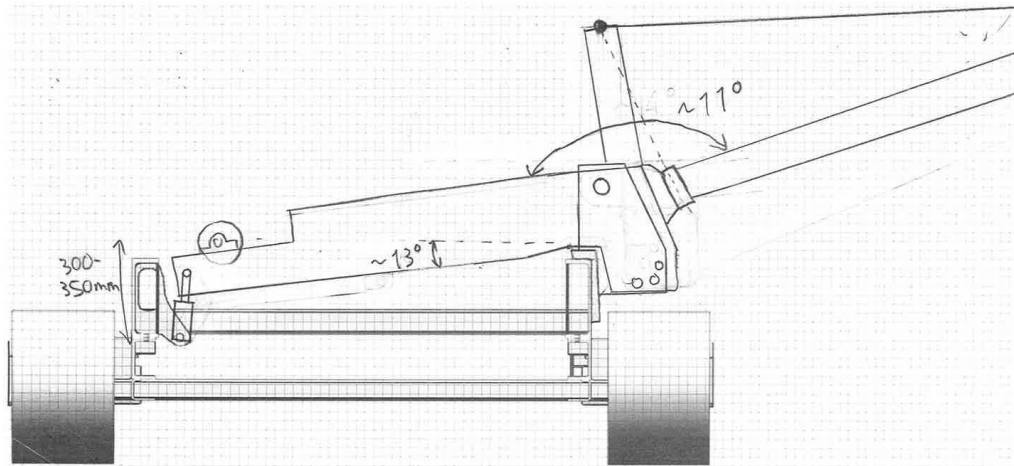
Nousukulmaltaan säädettävään kuljettimeen luonnosteltiin useita layout-ideoita, joista osa perustui muokattuun nykyiseen rakenteeseen, ja osa vaatisi koko kuljettimen uudelleen suunnittelun. Työssä tarkasteltiin myös mahdollisuutta toteuttaa kuljettimen kuljetusasentoon taittaminen latvan kiertämisen avulla, mutta tämä osoittautui hankalaksi tilarajoitusten vuoksi.

7.2.1 Luonnos 1

Ensimmäinen luonnos (kuva 17) perustui ideaan, jossa kuljettimen taitto koneen kylkeä vasten toteutettaisiin nykyisen kaksinivelisen, keski- ja ylärungosta koostuvan ratkaisun sijaan yhdellä kahteen suuntaan vinolla nivelellä. Näin kuljettimen latva kääntyisi koneen kylkeä vastaan yhdellä liikkeellä. Lastausalueen perässä olisi hydraulisyylinteri, jolla koko kuljettimen runkoa voitaisiin kiertää apurungossa olevan nivelöinnin ympäri noin kymmenen astetta. Apurungon alaosassa ja alarungon sivulevyissä olisi reiät lukitusosalle kulma-asentojen lukitsemiseen. Latvan tuenta toteutettaisiin yläpuolisella kehärakenteella, josta kulkisi vaijeri latvan puolivälin tienoille. Vaijerin kiinnityspiste olisi mahdollisesti asetettavissa nivelen akselille, jolloin vaijeri tukisi latvaa myös käännön aikana ja kuljetusasennossa.

Latvan kääntö voitaisiin toteuttaa yhdellä hydraulisyylinterillä. Nykyisessä rakenteessa tarvitaan taittoon kolme sylinteriä. Luonnoksessa 1 selvittäisiin siis yhteensä kahdella sy-

linterillä taitosta sekä kulmansäädöstä. Lisäksi latva taittuisi alemmas koneen kylkeä vasten, eikä rakenteessa olisi alapuolisia tukia. Tämä mahdollistaisi huomattavasti nykyistä rakennetta kapeamman kuljetusleveyden. Rakenne olisi yksinkertaisempi kuin nykyinen runko, jonka johdosta kuljettimessa voisi olla alemmat valmistuskustannukset.

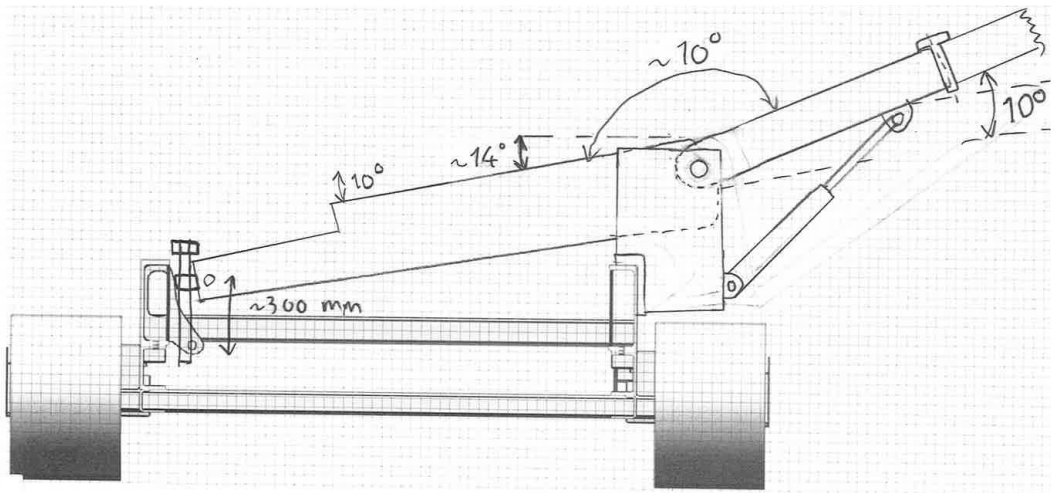


KUVA 17. Luonnos 1.

Luonnosta 1 pidettiin todella hyvänä ratkaisuna, sillä siinä oli useita haluttavia ominaisuuksia. Luonnostelun jälkeen kuitenkin havaittiin melko pitkän selvityksen jälkeen, että latvan taiton kahteen suuntaan vinoa niveltä ei ole mahdollista toteuttaa Terex GB LTD:n patentin US20090308718A1 vuoksi. Luonnos 1 oli siis pakko hylätä.

7.2.2 Luonnos 2

Luonnos 2 (kuva 18) puolestaan perustui nykyiseen rakenteeseen, jossa lastausalueen kiinteä kiinnitys koneen runkoon poistettaisiin, ja sen sijaan lastausalue kiinnitettäisiin nivelletyksi apurunkoon. Lastausalueen peräpäähän asetettaisiin korkeudensäätö esimerkiksi ruuvilla. Näin välttyttäisiin latvan kulmansäädön aiheuttamalta ongelmalta hihnan kulkureitin ja rullien asemoinnin muutoksessa. Mikäli asiakas laskee kuljettimen latvaa alemmas, voi lastausaluetta vastaavasti nostaa ylöspäin, jotta hihnan kulkureitti säilyy samana. Joissain tapauksissa pelkkä lastausalueen kulman loiventaminen voi olla riittävä ratkaisu kuljetettavan materiaalin rollbackin vähentämiseen.

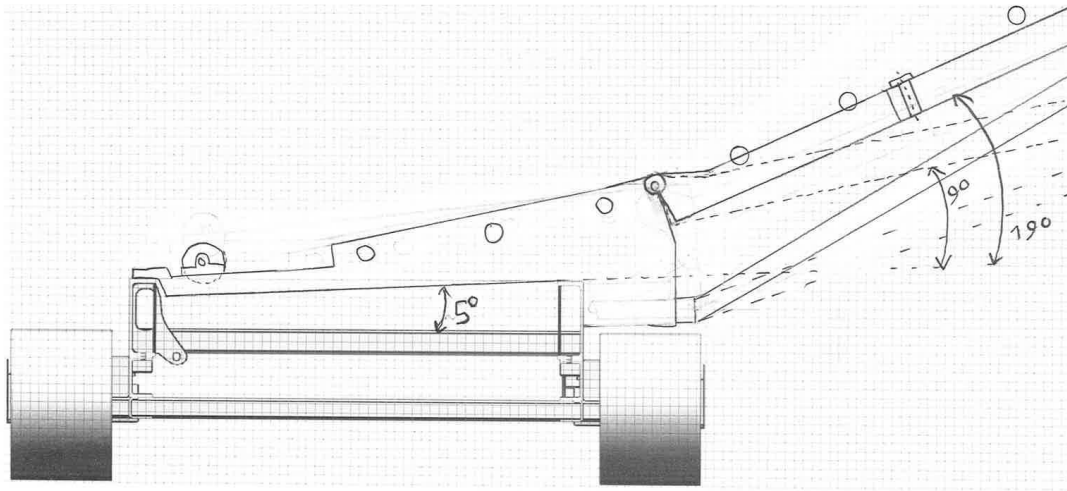


KUVA 18. Luonnos 2.

Kuljettimen taitto kuljetusasentoon tapahtuisi samoin kuin nykyisessä kuljettimessa. Alapuoliset tuet korvautuisivat prototyyppikuljettimen vaijerituennalla. Vaijerituennan pystypalkki kiinnitetään apurungon sivuun. Keskirungon nostosylintereillä toteutettaisiin latvan kulmansäätö. Sylinterien kiinnityspisteitä tulee muuttaa, ja eri kulma-asennoille pitää kehittää stopparit, jotta latvan paino voidaan laskea lukituksen varaan, pois hydraulisylintereiltä. Sylinterien alemmat kiinnityspisteet siirretään lastausalueen rungosta apurunkoon.

7.2.3 Luonnos 3

Luonnos 3 (kuva 19) oli nykyisenkaltainen kiinteästi kiinnitetty kuljetin, jossa lastausalue olisi asetettu loivempaan kulmaan, ja kulmansäätö toteutettaisiin latvaa laskemalla. Ratkaisussa ongelmallista on rungon osien väliset suuret kulmanmuutokset nousukulmaa säädettäessä, jolloin rullien sijoittelulla pitäisi loiventaa hihnan kulkeman reitin kaarta. Hihna jouduttaisiin myös säätämään uudelleen aina kun nousukulmaa muutetaan. Latvan kulmaa muutettaessa rullien asemointi toisiinsa nähden muuttuisi, mikä voisi aiheuttaa ongelmia hihnan kulkuun, kuten hihnan nousua ylös rullilta tai aaltoilua, mikä voi aiheuttaa rollbackia. Lastausalueen kulmaa voitaisiin myös lisätä ja kulmansäädön astemäärää vähentää, mutta tällöin ratkaisu olisi hyvin lähellä nykyistä rakennetta pienin, mutta työlläin muutoksin.

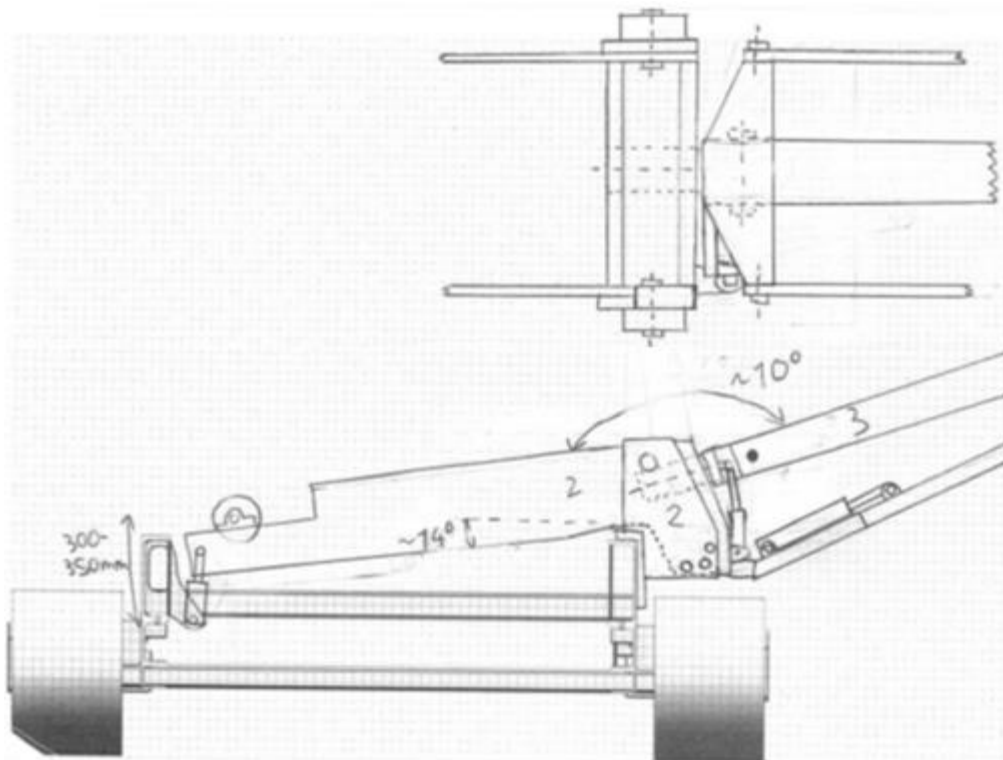


KUVA 19. Luonnos 3.

7.2.4 Luonnokset 4 ja 5

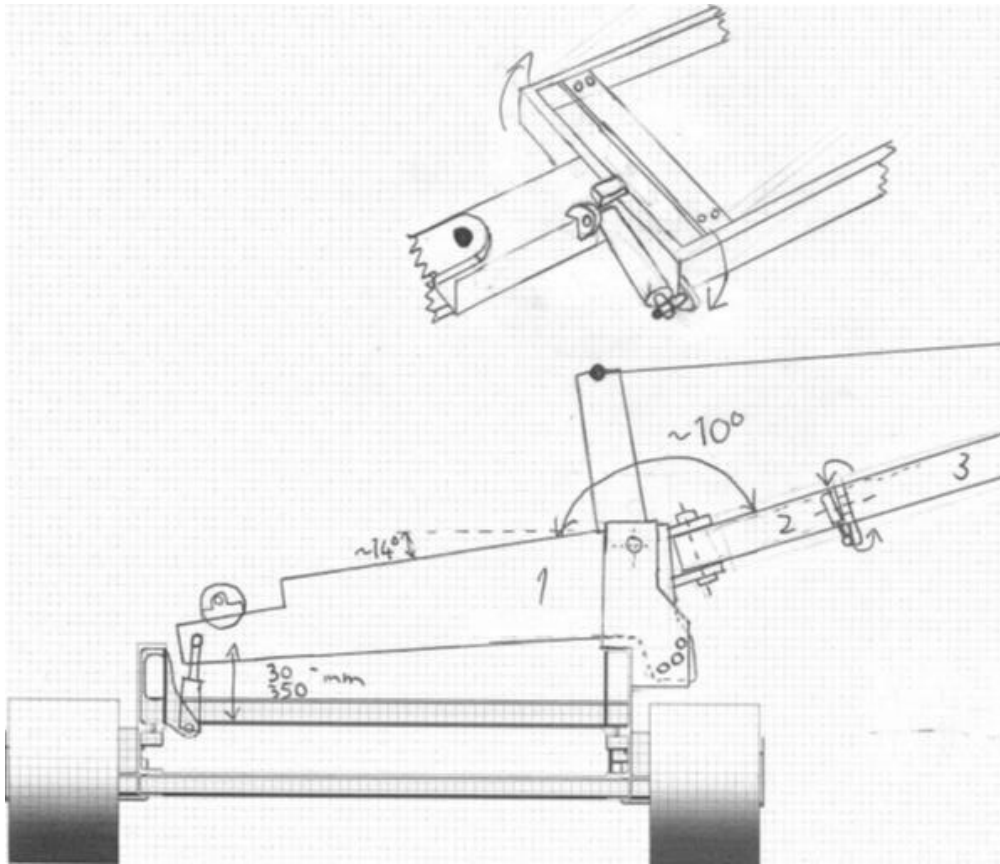
Luonnokset 4 (kuva 20) ja 5 (kuva 21) olivat huomattavasti erilaisia verrattuna aiempiin luonnoksiin. Ideana näissä oli kiertää latvaa pituussuunnassa ja kääntää se koneen kylkeä vasten. Erona luonnosten välillä oli kierron ja taiton järjestys, luonnoksessa 4 kierto olisi sijoitettu ennen taittoa, ja luonnoksessa 5 taas kierto olisi taiton jälkeen. Liikkeet voitaisiin toteuttaa yhtä aikaa tai osittain limittäin.

Luonnoksessa 4 kierto tehtäisiin lyhyen keskirungon avulla, jota kierrettäisiin esimerkiksi hydraulisynterillä. Latvan taitto taas tehtäisiin alapuolisella tuella, joka kääntäisi latvaa. Lastausalue olisi luonnosta 2 vastaava. Luonnos 4 vaatisi huomattavan kuljettimen uudelleensuunnittelun, jonka lisäksi kierron toteuttamisessa voisi tulla suuria haasteita. Pikaisen 3D-mallissa tarkastelun myötä havaittiin, että kuljetusleveyteen mahtuminen saattaisi muodostua ongelmaksi.



KUVA 20. Luonnos 4.

Luonnoksen 5 (kuva 21) tapauksessa taitto olisi sijoitettu ennen kiertoa. Latvaa kiertämällä 80 astetta latva olisi kuljetusasennossa pystysuorassa. Lastausalue on luonnoksen 2 tyylinen myös tässä luonnoksessa. Rungon keskilohkon tulisi olla hyvin lyhyt, sillä siihen ei voi asettaa rullia rullastojen leveyden vuoksi. Latvan käännön toteutus olisi todennäköisesti hyvin haastavaa, sillä koko mekanismin tulisi mahtua hihnan väliin, jossa tilaa on noin 200 mm. Lisäksi haasteena olisi saada rakenteesta tarpeeksi jäykkä. Hyvänä puolena rakenteesta tulisi melko yksinkertainen kiertoa lukuun ottamatta, ja kuljetusasennosta saataisiin todella kapea.



KUVA 21. Luonnos 5.

7.3 Kehitys

Luonnosten vertailun ja pohdinnan päätteeksi päätettiin valita luonnos 3 jatkokehitettäväksi. Luonnoksessa 3 oli etuna rakenteen yksinkertaisuus ja kulmansäädön helppous. Kuljettimen rungon kulma ei myöskään muuttuisi kulmansäädön myötä, ja alapuolisia tukiputkia ei tarvittaisi. Pohjaksi työlle otettiin nykyisen tuotannossa olevan kuljettimen sijaan uudempi sivukuljettimen prototyyppi, jonka alarunkoon työssä tehdään muutoksia. Kyseinen prototyyppikuljetin mahtuu kolmen metrin kuljetusleveyteen, joten siltä osin työlle asetettu lisätoivomus täyttyi, sillä kiinnityksen muutokset eivät vaikuta latvan ja sen tuennan leveyteen. Nivelkohta asetetaan siten, että latva taittuu samaan, tai lähes samaan kohtaan kuin aiemminkin.

Työssä suunnitellaan kuljettimelle kannatinrakenne, tai toiselta nimeltään apurunko, johon kuljettimen alarunko ja ylärunko asennetaan niveltapein. Kannakkeet kiinnittyvät koneen runkoon pulttiliitoksin. Kannakkeisiin suunnitellaan lukitusmekanismi, jolla alarungon ja kannakkeiden kulman saa lukituksi kuljettimen irrallaan kuljettamista varten. Lat-

van nostosylinterien kiinnityspisteet poistetaan alarungosta, ja ne siirretään kannakkeisiin. Lisäksi kuljettimen perän kiinnitykseen suunnitellaan korkeudeltaan säädettävä kannatinmekanismi.

Kuljettimen alarunko muokataan aiempaa matalammaksi, kun rungon kiinnityspisteet poistetaan alarungon etuosasta. Alarunkoon lisätään kiinnityspisteet latvan lisäksi myös kannakkeelle. Alarunkoa on kavennettava kannakkeen kiinnityskohdasta, joten siihen tarvitsee suunnitella uusia vahvikkeita vanhojen tilalle. Alarunkoon lisätään myös säätömahdollisuus, jolla rungon perää saa nostettua, ja siten kuljettimen nousukulmaa säädettyä. Säätö toteutetaan esimerkiksi suurikokoisten ruuvien tai hydraulisylinterin avulla. Yläpuolisen vaijerituennan kiinnitys tulee kiinnittää alarunkoon, jolloin pystypalkki kääntyy rungon mukana.

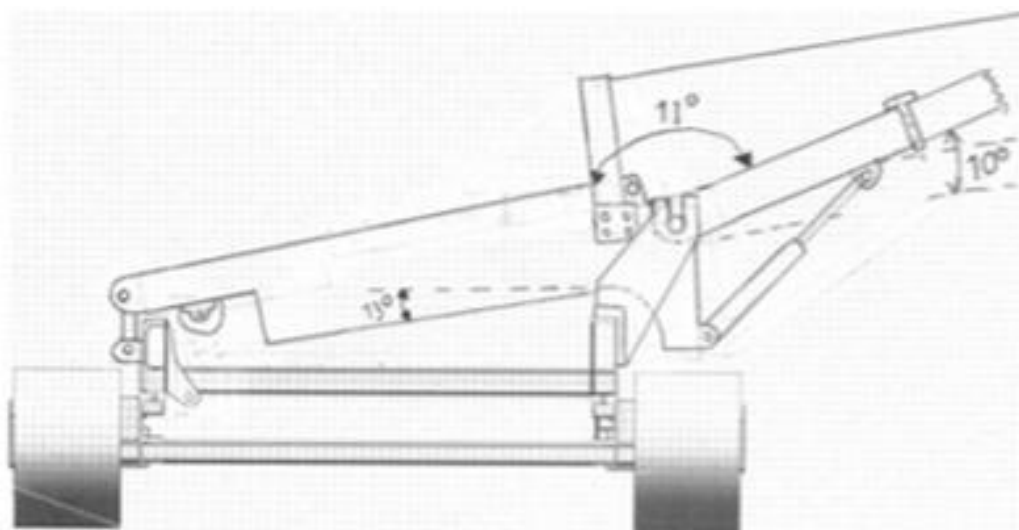
Keskirungon osalta voi olla tarpeellista tehdä muutoksia kiinnityskohtiin. Nivelkiinnitykset täytyy tehdä yhteensopiviksi uusien kannakkeiden ja alarungon kanssa. Sylinterien kiinnitykset tulee suunnitella siten, että kuljettimen latvan saa laskettua sylinterien runkojen ja yläpuolisen tuen varaan. Näin latvan massa ei ole sylinterien mäntien kannateltavana.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään kuljettimen runkomuutoksiin. Muokattu runko vaatii rullastojen, suojien sekä lastausalueen uudelleensuunnittelun. Alustava suunnitelma on tehdä lastausalueesta huomattavasti aiempaa matalampi, ja siirtää lastausalueen laidat syöttösuppilon. Työssä suunnitellaan alarunko ja sen kiinnitykset; kannattimet ja perän korkeudeltaan säädettävä kiinnitys. Alarungon suunnittelussa otetaan huomioon latvan taitto kuljetusasentoon, rullien kiinnityksen sijoitus alarungossa, sekä suojien ja lastausalueen laitojen kiinnityspisteet. Rakenteet suunnitellaan pääosin teräslevyistä, jotka hitsataan yhteen ja kuumasinkitään. Tätä varten levyihin on suunniteltava reikiä sinkin pois valuttamista varten.

Suunnittelulle ei tässä työssä suoriteta viimeistelyvaihetta, johon kuuluu muun muassa osien työpiirustusten, kokoonpanokuvien, osaluetteloiden ja -rakenteiden sekä erilaisten ohjeiden luominen. Kuljettimen muokattu lastausalue vaatii muutoksia syöttösuppilon, ja lisäksi kuljettimen latvaan tulee myös tehdä muutoksia muista syistä johtuen. Lisäksi kuljettimen kiinnityksen muutokset saattavat aiheuttaa tarpeen pienille koneen rungon muutoksille. Näistä syistä johtuen viimeistely jätetään kokonaan tekemättä, sillä edellä

mainittuja kokonaisuuksia suunniteltaessa voi tulla esiin tekijöitä, joiden vuoksi kuljettimen alarunkoon voidaan joutua tekemään muutoksia.

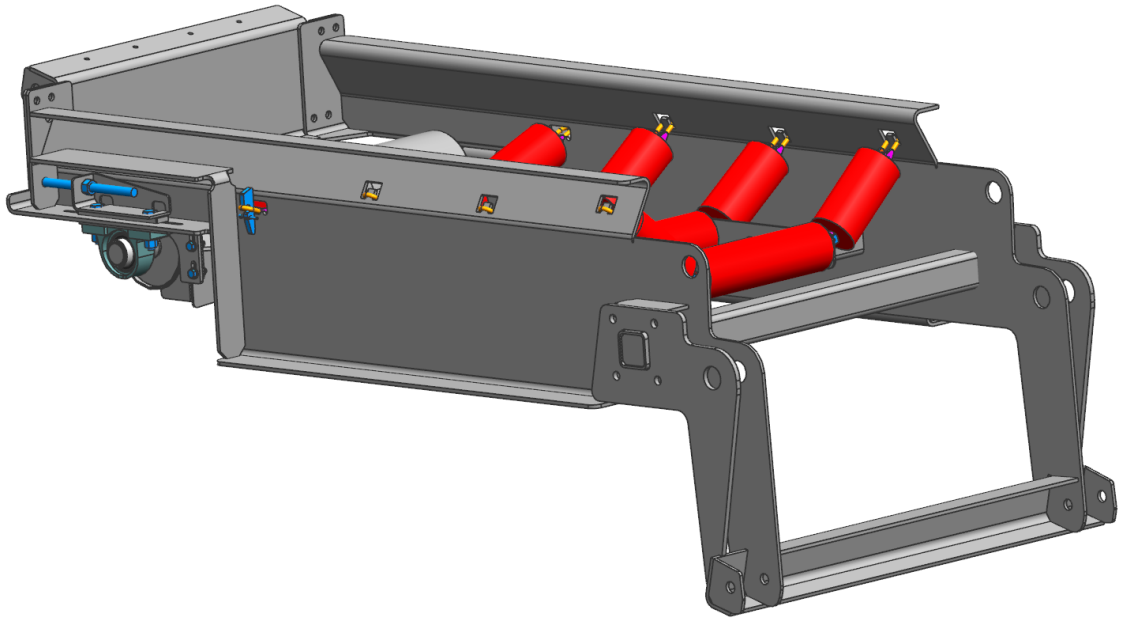
Luonnosteluvaiheen aloituksen jälkeen suunnittelu aloitettiin rakentamalla karkea 3d-malli säädettävästä kuljettimesta. Tässä vaiheessa selvisi, että kuljettimen asennettavuuden ja irrallaan kuljetettavuuden vuoksi luonnokseen 3 kannattaisi tehdä muutoksia. Sylinterien kiinnitys siirrettiin apurungosta alarunkoon, jolloin rakenteesta saatiin helpompi käsitellä, kun se ei ole asennettuna koneeseen (kuva 22). Tämä helpottaa myös kuljettimen kulmansäätöä, kun säätö toteutetaan pelkästään kuljettimen perää nostamalla, ilman latvan noston hydraulisylinteitä. Kannattimet muutettiin kuljettimen rungosta erillisiksi teräsrakenteiksi, joihin kuljettimen runko voidaan laskea paikalleen. Perän taittorumpu siirrettiin kiinnitykseltään yläpuoliseksi, jotta kuljettimen perä saatiin koneen rungon yläpuolelle.



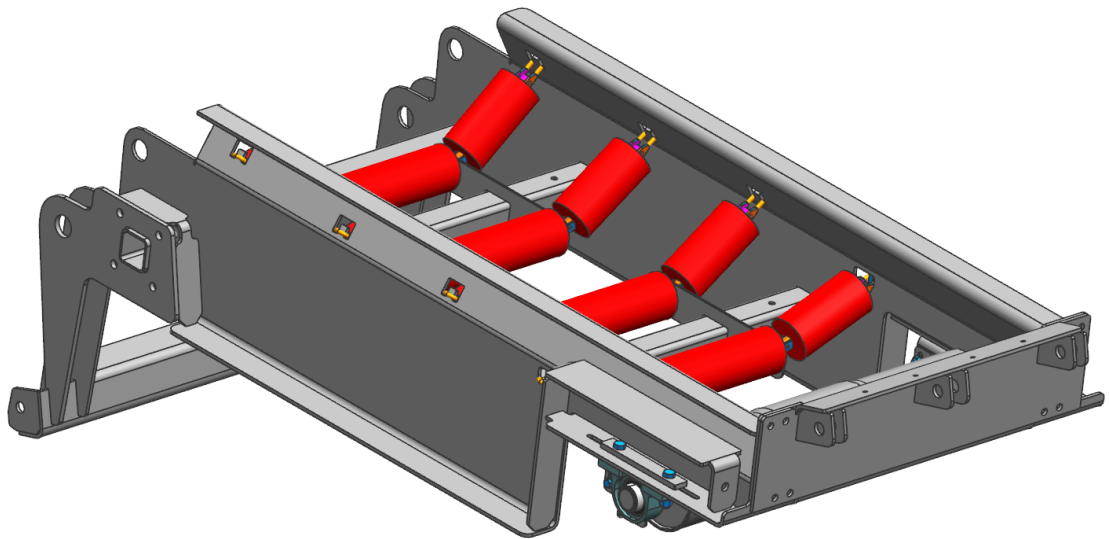
KUVA 22. Luonnos 3:n pohjalta kehitetty kuljettimen lopullinen layoutpiirros.

7.3.1 Alarunko

Alarungon (kuvat 23 ja 24) teräsrakenne koostuu kahdesta sivulevystä, niitä yhdistävistä poikkipalkeista. Lisäksi rakenteessa on erilaisia levyjä, joilla vahvistetaan rakennetta ja toteutetaan erilaisten osien kiinnitys. Alarungossa on myös pystypalkki latvan vaijerituentaa varten, sekä latvan nostosylinterien alapään kiinnityspisteet. Alarungon kiinnitys tehdään niveltapilla kannattimiin, ja samaan tappiin kiinnitetään myös keskirunko. Alarungon perässä on kiinnitys ja säätömekanismi taittorummulle ja rungon nostomekanismin yläosa.



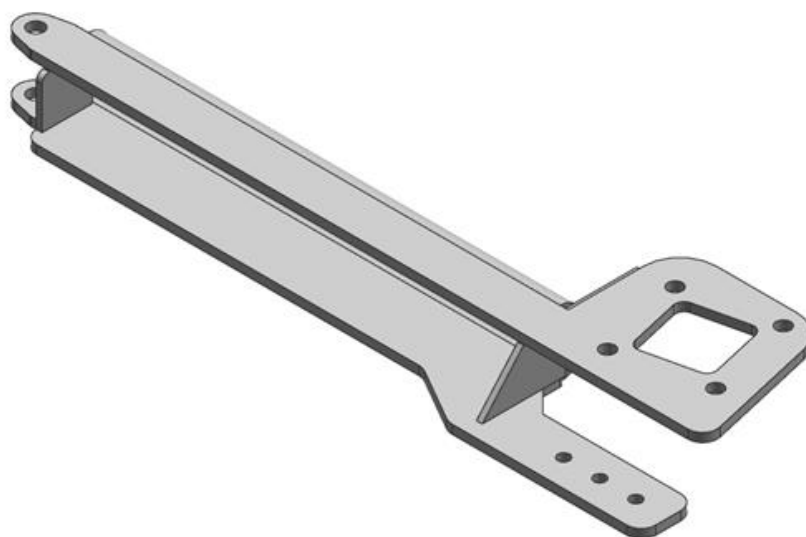
KUVA 23. Kuljettimen alarunkorakenne edestäpäin kuvattuna.



KUVA 24. Kuljettimen alarunkorakenne takaapäin kuvattuna.

Rakenteen etuosassa on kuljettimen latvan nostosylinterien kiinnityspisteet, niveltappien asennuspisteet, sekä latvan lisätuennan kiinnitykset. Lisätuenta hoidetaan kuvan 22 luonnoksen mukaisesti vaijerilla. Aiemmissa kuljettimissa vastaavat tuennat on toteutettu teräksisellä neliöputkella, jonka päähän vaijeri kiinnitetään hitsattuihin korvakkeisiin. Neliöputkesta päätettiin luopua, rakenteeseen sopivasta neliöputkesta ei ollut sopivaa tuumakokoista vaihtoehtoa saatavilla, mikä huonontaa kuljettimen valmistettavuutta useissa maissa. Tuki päätettiin toteuttaa taivutetusta levystä (kuva 25), johon ei tarvitse hitsata

kiinnikkeitä tuen ja vaijerin kiinnitystä varten. Ainoat hitsaukset tuessa ovat kaksi vahvistuslevyä tuen ala- ja yläpäässä. Tuen kiinnitys runkoon tapahtuu pulttiliitoksin. Liitteessä 1 on laskettu suuntaa-antavaa taivutusvastuksen arvoa tuelle, jota verrataan aiempaan neliöputkitukeen. Tuen toista reunaa pidennettiin, jotta levyn taivuttaminen haluttuun muotoon on mahdollista työstökoneella. Tuki ja sen kiinnitykset mitoitetaan myöhemmin tarkemmin, kun siihen kohdistuvat kuormitukset saadaan tietoon.



KUVA 25. Latvan tukivaijerin alapään kiinnitysrakenne.

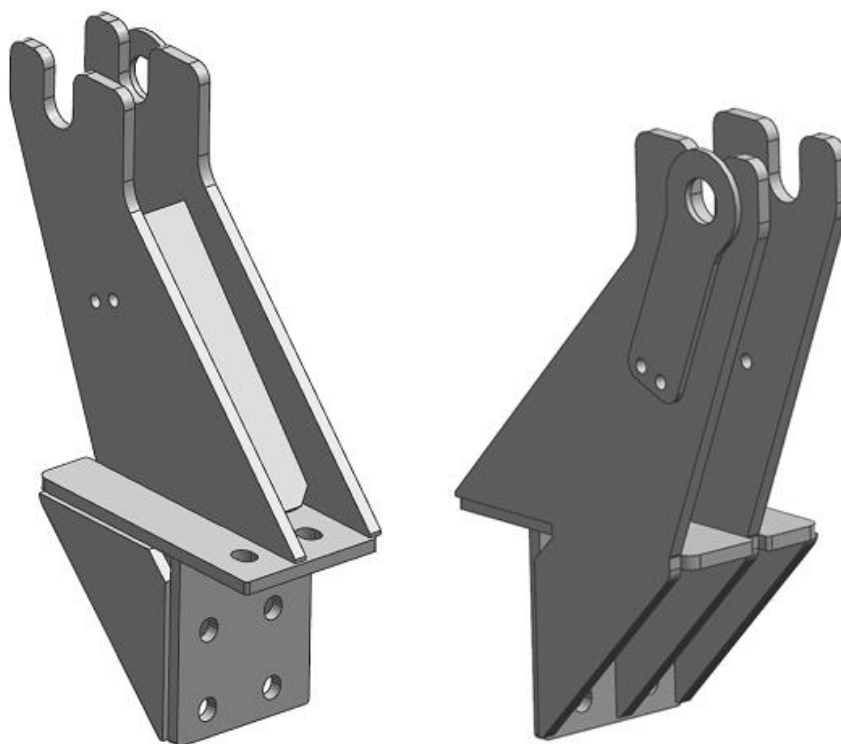
Sivulevyjen väliin asennetaan hihnaa kannattelevat rullat. Rungon sivulevyjen yläreunaan kiinnitetään lastausalueen laitaratkaisut, ja tarvittavat suojapellit. Sivulevyjen profiilia muutettiin aiemmista kuljettimista siten, että taittorummun kiinnitys vaihdettiin alapuolisesta yläpuoliseksi. Näin saatiin rungon perää ylemmäksi, josta oli hyötyä hihnan kiristysmekanismin sijoituksessa, sekä kuljettimen perä saatiin näin koneen rungon yläpuolelle nostomekanismin asentamista varten.

Lastausalueen perässä on pulttiliitoksilla kiinnitettävä levyrakenne, johon kiinnitetään perän nostosylinteri sekä noston lukituslevyt. Kokonaisuutta ei hitsata alarunkoon, sillä hihnan asentamien kuljettimen kokoamisvaiheessa vaatii perän avoimuuden, sekä irrotettava rakenne mahdollistaa perään asennettavan kiinnikekokonaisuuden vaihtamisen tarpeen vaatiessa. Näin kuljetin voidaan esimerkiksi asentaa erilaisiin koneisiin, joiden runkoratkaisut vaativat kuljettimelta erilaiset kiinnitykset.

Suunnittelussa otettiin huomioon rakenteen yksinkertaisuus ja hyvä valmistettavuus, sekä rakennetta pyrittiin optimoimaan valmistuskustannuksiltaan. Levyjen ja hitsausliitosten määrä pyrittiin pitämään mahdollisimman vähäisenä, ja levyistä suunniteltiin symmetrisiä, kun se oli mahdollista. Kaikki hitsausliitokset pyrittiin toteuttamaan pienasaumoilla. Samoja osia pyrittiin käyttämään mahdollisimman paljon rungon eri puolilla. Ainoastaan sivulevyt ovat peilikuvia toisistaan, kaikki muut levyt sopivat kummallekin puolelle runkoa. Tästä on etua kuljettimen valmistuskustannuksissa, minkä lisäksi kuljettimesta voidaan helposti valmistaa eripuolinen versio, jonka latva kääntyy vastakkaiseen suuntaan.

7.3.2 Kannattimet

Kuljettimen kannattimet (kuva 26) asennetaan koneen pulttaamalla runkoon, molemmille puolille kuljettimen alarunkoa. Kuljetin lasketaan asennettaessa kannakkeisiin akselitappien kannateltavaksi. Kannattimet koostuvat kahdesta koneen runkoa vasten sijoitettavaa levyistä, kahdesta sivulevystä ja tukilevyistä. Kannattimen yläpäässä on kuljettimen nivelpiste, johon alarunko ja keskirunko kiinnitetään tappiliitoksella. Osat valmistetaan 16 millimetriä paksusta teräslevystä, sillä kyseinen levyvahvuus oli havaittu toimivaksi aiempien kuljetinten kiinnityksissä. Molempien puoleiset kannattimet saatiin suunniteltua kokonaan samoista levyistä koostuviksi, joista eripuoliset kannakkeet kootaan hitsaamalla kannattimen alimmaiset kolme levyä eri asentoon.



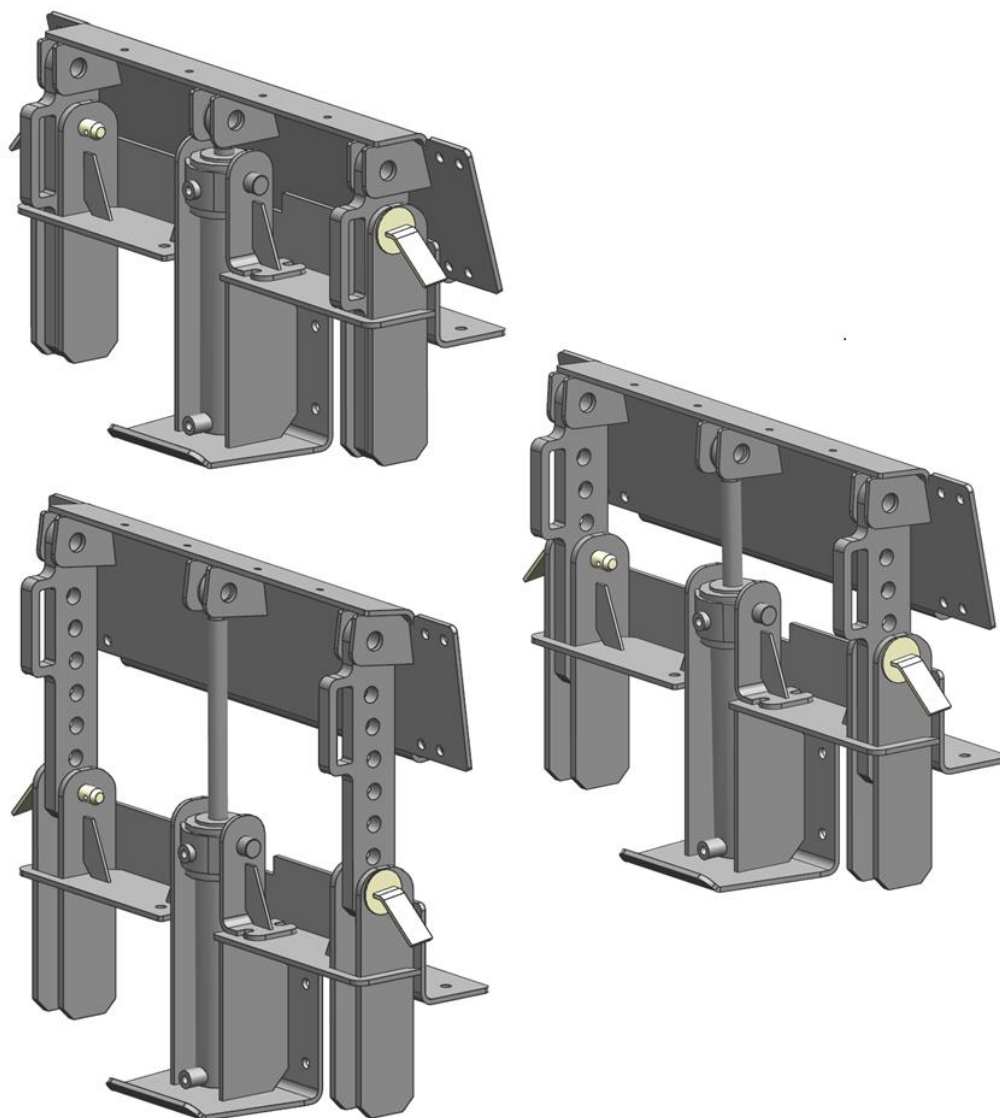
KUVA 26. Kuljettimen kannatin takaa ja edestä kuvattuna.

Kannattimiin piti suunnitella kuljettimen kiinnitysratkaisu, joka asennetaan sen jälkeen, kun kuljetin on laskettu paikalleen kannakkeisiin. Akselitapin kiinnitysreiät kannakkeessa suunniteltiin yläreunastaan avoimeksi kuljettimen paikalleen laskemista varten, joten akselitappien pystysuuntainen liike eli kuljettimen kiertyminen ylös kannakkeilta tuli estää kiinnittimien avulla. Kuljetin lukitaan kannakkeisiin lukkolevyjen avulla.

Kannattimeen kohdistuu huomattavia rasituksia eri tilanteissa. Yksi kuormitustilanne on esimerkiksi kuljettimen ollessa käyttöasennossa suorana ja täynnä kiveä. Toinen kuormitustilanne on kuljetusasentoon taitettaessa, kun latva on käännettynä sivulle. Kolmas taas on kuljettimen latva nostettuna pystyyn, kun koko konetta käännetään ympäri telaketju-ajon avulla. Kannattimiin kohdistuvat suuntaa-antavat kuormitukset kuljettimen käyttötilanteessa löytyvät liitteestä 2. Kannattimien kestävyys tarkastellaan myöhemmässä vaiheessa tuotekehitystä FEM-ohjelmalla.

7.3.3 Kulmansäätömekanismi

Kuljettimen kulmansäätö päätettiin työn katselmoinnin yhteydessä toteuttaa hydraulisylinterin avulla, joka sijoitettaisiin ensisijaisesti kuljettimen päädyn keskilinjalle, koneen rungon ulkopuolelle. Kuljettimen päädyn reunoihin kiinnitetään lukituslevyt, joiden avulla haluttu nousukulma lukitaan koneen runkoon kiinnitettyihin korvakkeisiin tappeja käyttämällä. Kulmansäätömekanismin prototyyppi löytyy kuvasta 27.



KUVA 27. Kuljettimen perän nostomekanismi lukittuna eri asentoihin.

Haasteeksi perän nostototeutuksessa osoittautui koneen rungon ja telan välinen melko pieni etäisyys, johon verrattuna kuljettimen perän pystysuuntainen liike ylöspäin oli samaa suuruusluokkaa. Tämän vuoksi suunnitelluista ratkaisuista piti tehdä korkeussuunnassa mahdollisimman matalat, jolloin osien kiinnitystä jouduttiin nostamaan ylöspäin kuljettimen peräpäässä. Nostosylinteristä piti valita lyhytrakenteinen, sylinterin rungon yläpäästä kiinnitettävä malli, jotta tarpeeksi suuri-iskuinen sylinteri saatiin mahtumaan.

Hydraulisylinterille tuli suunnitella avattavissa oleva kiinnitysratkaisu, sillä sylinterin rungossa on kiinteät saranatavit. Näin ollen kiinnitysratkaisun tuli olla avoin, jotta sylinteri saadaan asetettua paikalleen. Toisen puolen kiinnike on kiinteä, ja toiselle puolelle asennetaan levyrakenteinen kannake pulttiliitoksin.

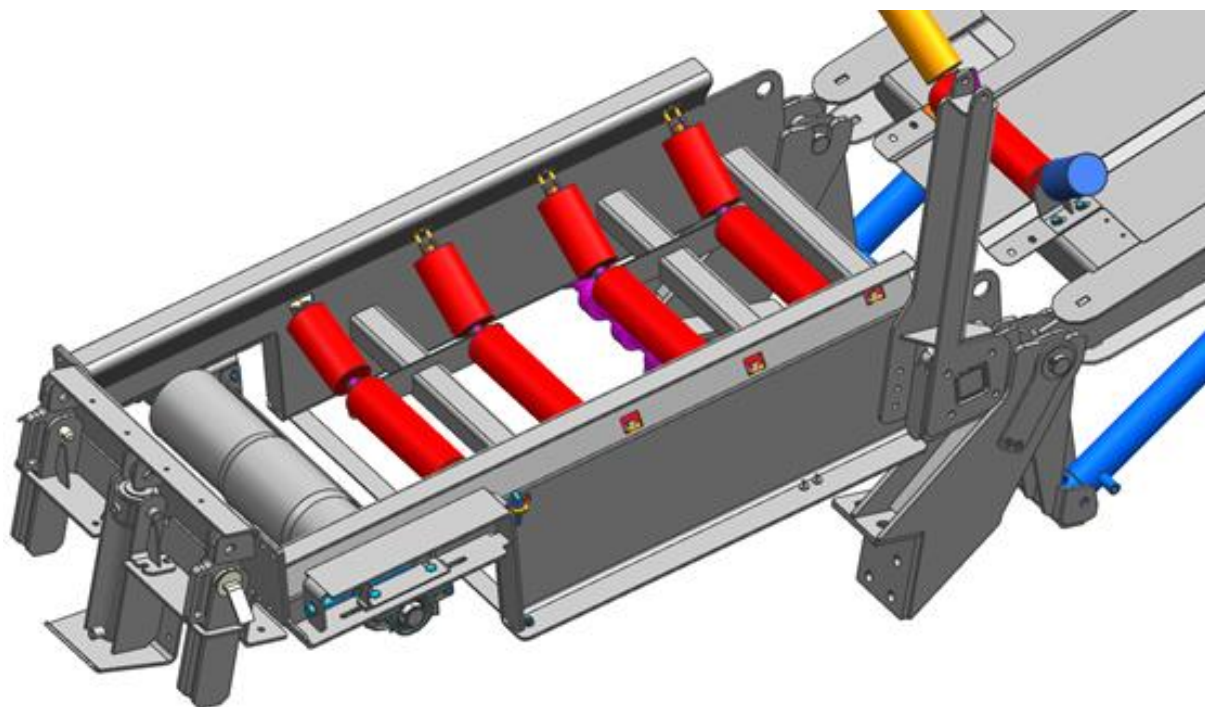
Kuljetin lukitaan käyttöä varten haluttuun kulma-asentoon nostamalla kuljettimen perää sylinterillä, ja asettamalla sokkatapit lukkolevyihin. Lukkolevyt kantavat perään kohdistuvan kuormituksen kuljetinta käytettäessä. Nostomekanismin kiinnityksen levyrakenne toimii myös sylinterin alapään ja liittimien sekä lukkolevyjen suojana. Siten esimerkiksi telaketjun päällä olevat kivet eivät pääse kulkiessaan vaurioittamaan mekanisme.

Liitteestä 2 löytyy alustavia suuruusluokkalaskelmia nostosylinterin ja lukituslevyjen kuormituksille sekä jännityksille. Laskelmia tehtiin erilaisille käyttötilanteille. Rakenne on ylimitoitettu, jotta mahdollinen käyttötilanteessa esiintyvä väsyttävä kuormitus ei vaurioita komponentteja. Lopulliset lujuustarkastelut nostomekanismille tehdään FEM-ohjelmalla myöhemmässä vaiheessa tuotekehitystä. Pultti- ja tappiliitosten mitoitusta ei tehty vielä tässä vaiheessa tuotekehitystä.

Nostomekanismin yläpään kiinnitys kuljettimen perään on pulttikiinnitteinen, jolloin hihnan asentaminen paikalleen kuljetinta valmistettaessa helpottuu, ja kuljetin saadaan asennettua erilaisiin koneisiin vaihtamalla päätyrakenne erilaiseksi. Myös kuljettimen kannattimet voidaan tarvittaessa muotoilla erilaisiksi, jolloin samaa kuljetinta pystytään hyödyntämään useassa kohteessa.

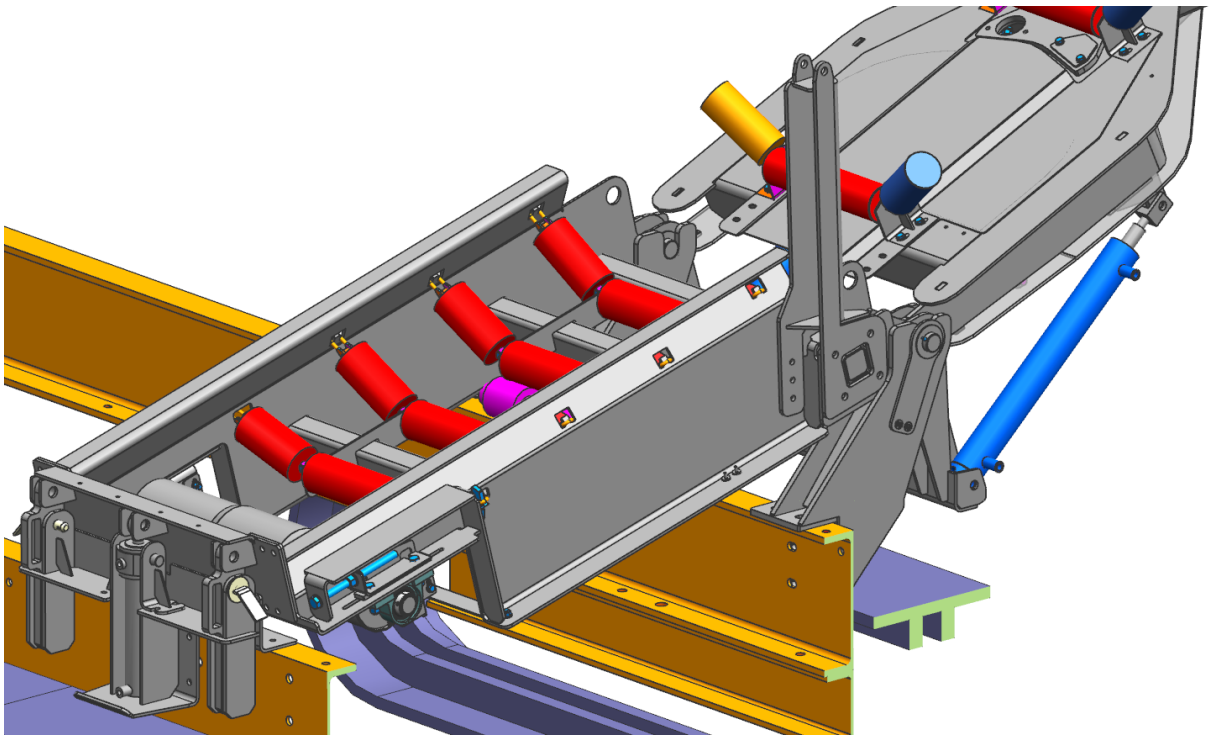
8 LOPPUTULOS

Opinnäytetyössä tehdyn suunnittelutyön lopputuloksena syntyi nousukulmaltaan säädettävän hihnakuljettimen alarungon ja kiinnitysratkaisujen prototyyppien 3D-mallit (kuva 28). Ratkaisussa onnistuttiin kehittämään hyvin montaa aiemmissa kuljettimissa havaittua parannuskohdetta. Uuden alarunkorakenteen myötä rakennetta saatiin yksinkertaistettua huomattavasti. Uuden rakenteen myötä päästiin eroon kuljettimen alapuolisista tukiputkista, sekä hihnan kiristysmekanismi saatiin siirrettyä kuljettimen perään. Uusi kuljettin on myös aiempaa helpompi valmistaa, kun pulttiliitosten määrää saatiin vähennettyä merkittävästi.



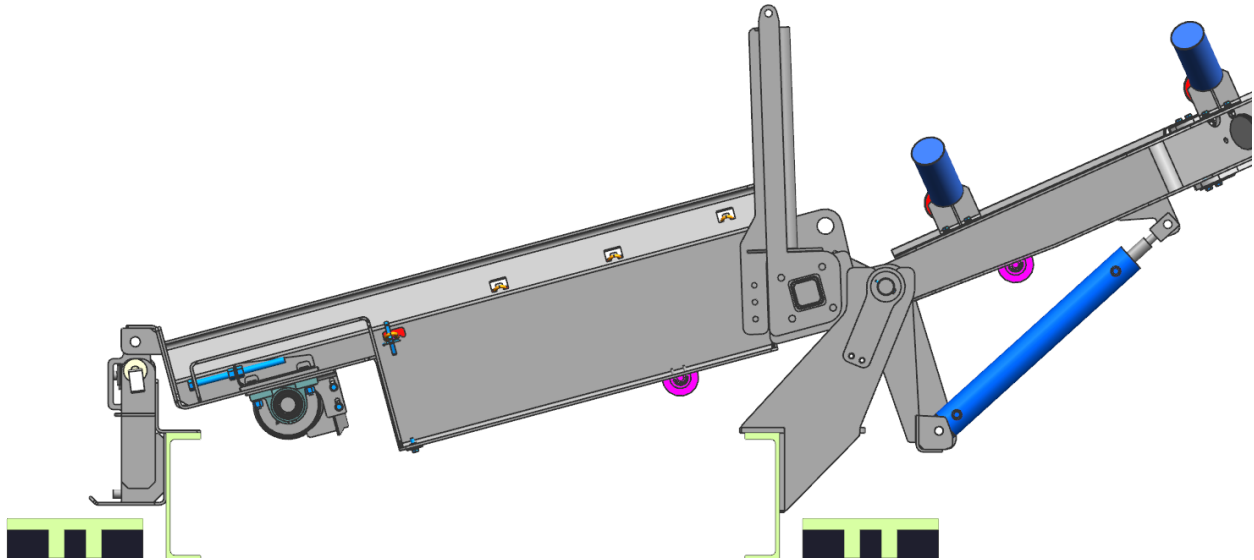
KUVA 28. Työssä suunniteltu kuljettimen prototyyppi.

Kuljettimen kiinnitys koneen runkoon muuttui aiempaa monimutkaisemmaksi (kuva 29), mutta tällä saavutettiin suuri hyöty kuljettimen joustavuuden lisääntymisenä. Kulmansäädön myötä kuljettimien lisälaitojen ja muiden aiempien vierimisongelmaa lieventävien ratkaisujen tarve vähenee: jos rollback-ongelmaa esiintyy, asiakas voi laskea kuljettimen nousukulmaa, jolloin ongelma vähenee tai loppuu. Leveärakenteiseen rungon keskilohkoon on myös tarvittaessa helppo kiinnittää mahdollisia lisälaitaratkaisuja.

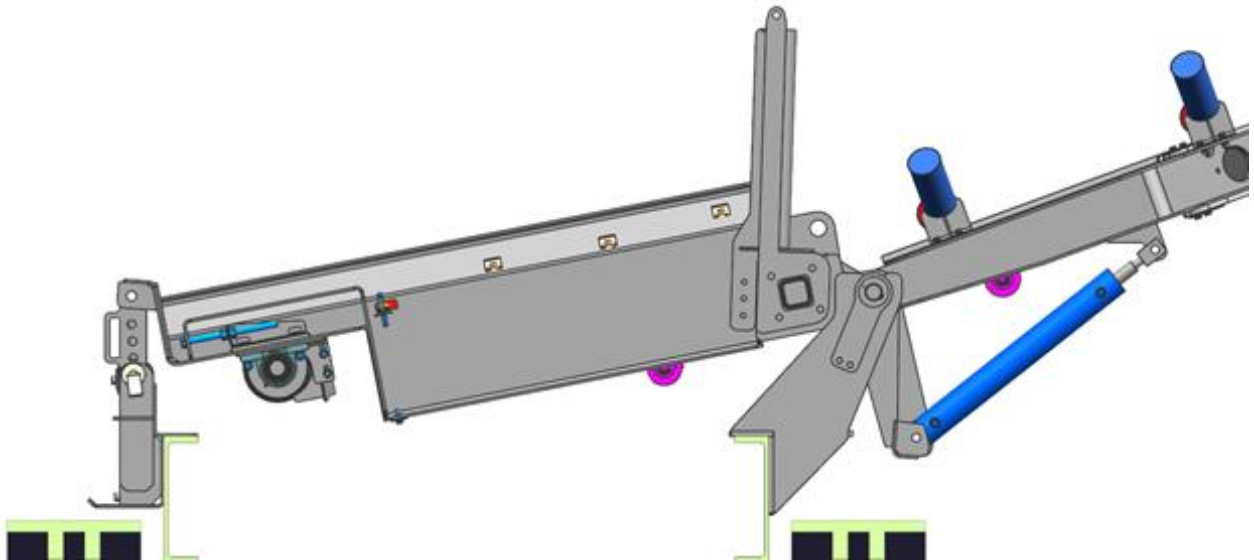


KUVA 29. Kuljetin kiinnitettynä koneen runkoon.

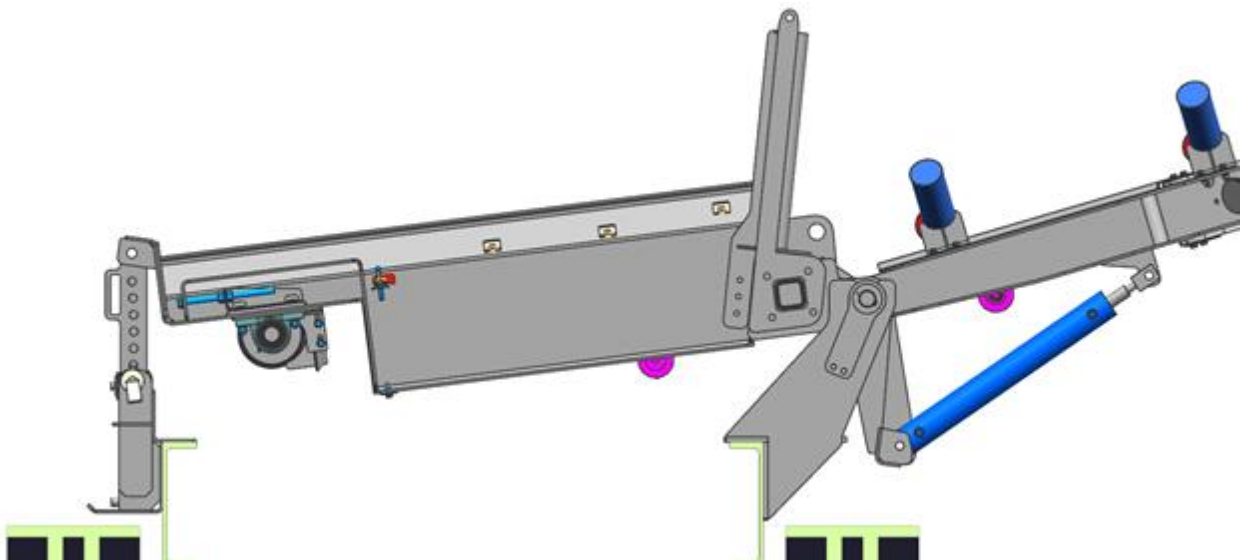
Mallinnetun rakenteen myötä suunniteltu layout havaittiin erittäin toimivaksi. Nousukulman säätö toimii hienosti (kuvat 30-32). Nousukulma on säädettävissä 24-16 asteen välillä, jonka lisäksi kuljettimen lastausasema on hieman loivemmassa kulmassa latvaan nähden. Aiempaan kiinteään 24 asteen kulmaan verrattuna lastausalue on mahdollista säätää noin seitsemän asteen nousukulmaan, millä on huomattava vaikutus materiaalin vierimisen vähenemiseen. Haittapuolena kulmansäädön havaittiin aiheuttavan haasteita kuljettimen lastausalueen ja syöttösuppilon suunnitteluun, kun ylös nostettuna kuljettimen perän etäisyys syöttösuppilon pienenee huomattavasti. Syöttösuppilo tuleekin suunnitella kokonaan uudelleen sopivaksi uuteen kuljettimeen.



KUVA 30. Kuljetin 24 asteen nousukulmassa.

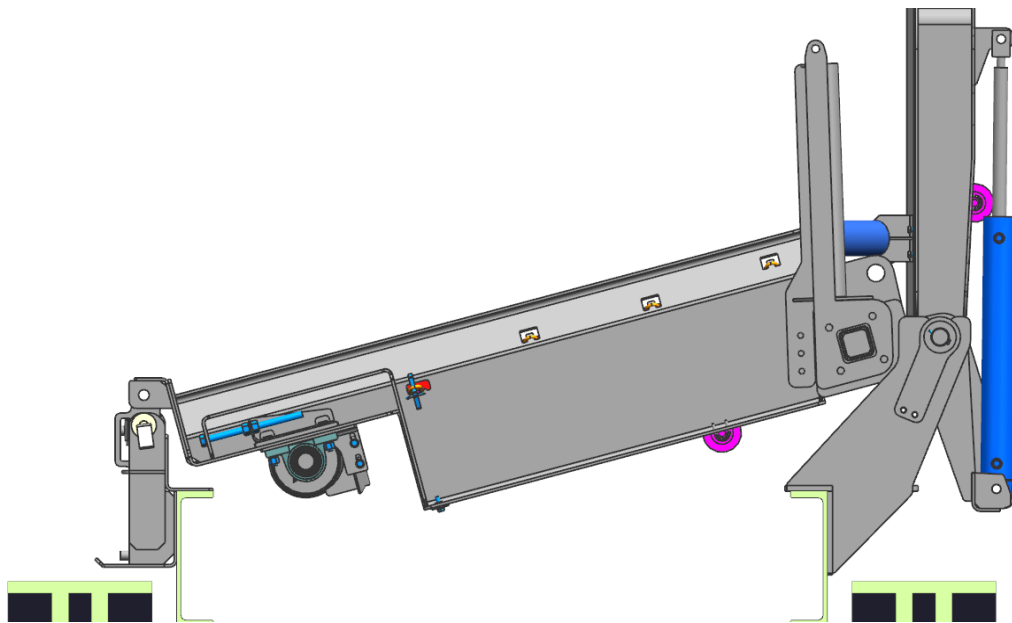


KUVA 31. Kuljetin 20 asteen nousukulmassa.

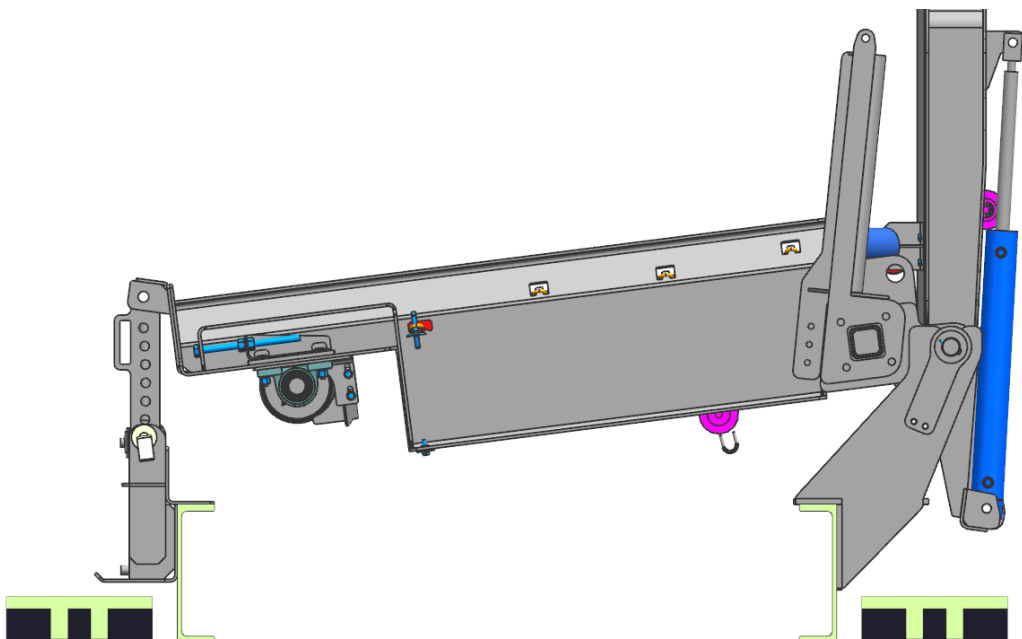


KUVA 32. Kuljetin 16 asteen nousukulmassa.

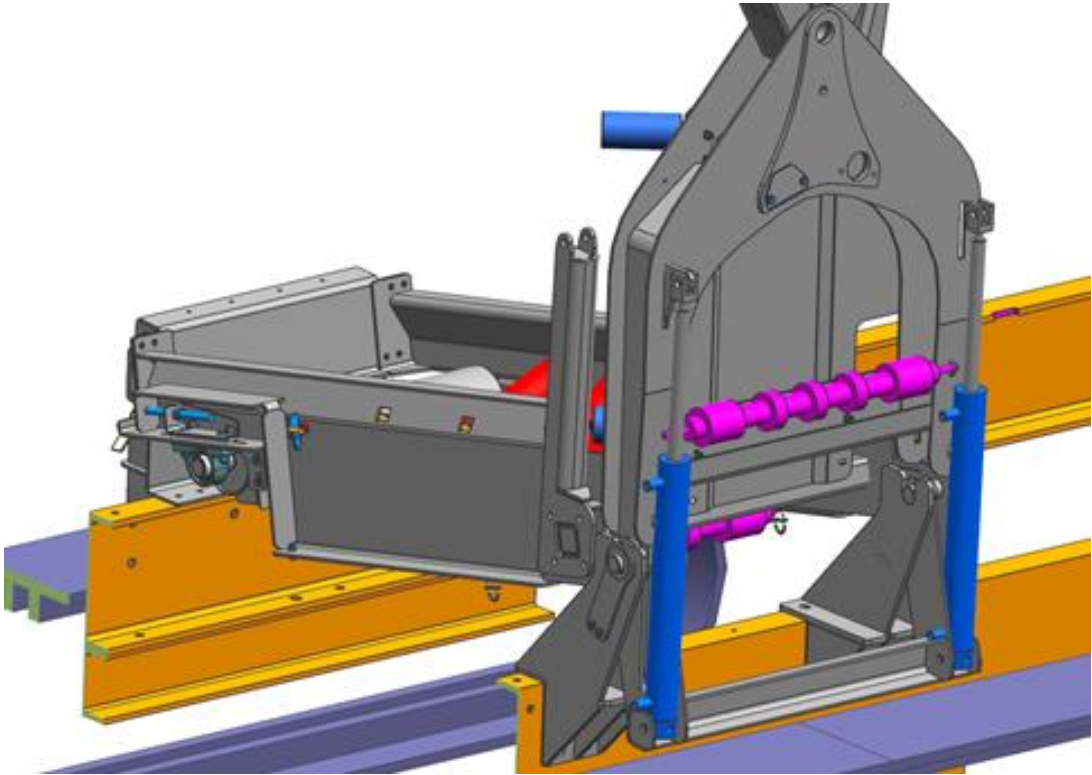
Kuljettimen taitto kuljetusasentoon muuttui aiempaa helpommaksi, sillä alarungon asennolla ei ole vaikutusta kuljettimen taittoon tai kuljetusleveyteen (kuvat 33 ja 34). Kone mahtuu kolmen metrin kuljetusleveyteen myös kuljettimen ollessa asetettuna leveimpään asentoon. Alapuolisten tukiputkien poistaminen vähentää lukitustappien asentamisen ja poistamisen tarvetta, kun kone laitetaan kuljetusasentoon tai kuljetusasennosta käyttö-asentoon. Rungon keskilohkon nivelpiste pysyi lähestulkoon samana aiempaan kuljettiin nähden (kuva 35), jonka ansiosta kuljettimen latva taittuu koneen kylkeä vasten ongelmitta.



KUVA 33. Kuljetin taitettuna kuljetusasentoon, kun alarunko on ala-asennossaan.



KUVA 34. Kuljetusasento, kun alarunko on lukittuna ylä-asentoon.



KUVA 35. Kuljettimen latva taitettuna ylös.

Edellisten huomioiden lisäksi kuljettimen kuljetettavuus irrallisena parantui huomattavasti aiempiin malleihin verrattuna, kun rakenteesta saatiin vanhoja kuljettimia matalampi, sekä latvan nostosylinterien alapuolisten kiinnitysten alle saadaan kiinnitettyä jalat, joiden varaan kuljettimen voi laskea. Suuri hyöty saatiin myös kuljettimen modulaarisuudesta: kuljettimen kannakkeet ja perän nostomekanismi ovat kuljettimen rungosta erillisiä rakenteita, jotka vaihtamalla samaa kuljetinta voidaan käyttää useassa kohteessa.

9 PARANNUSEHDOTUKSET

Tulevissa koneissa rollback kannattaisi ottaa huomioon jo koneen luonnostelu- sekä suunnitteluvaiheissa. Rollback tulisi ottaa huomioon erityisesti kuljettimissa, joilla kuljetetaan materiaali, jonka joukossa ei ole hienojakoista ainesta. Näihin lukeutuvat muun muassa seulojen ylätasojen perässä olevat kuljettimet.

Kuljettimien suunnittelussa tulisi tarkastella kyseisellä kuljettimella tyypillisessä käyttötilanteessa kuljetettavaa materiaalia, ja asettaa nousukulma sellaiseksi, että kyseisen materiaalin kuljettaminen on mahdollista ilman rollbackia. Optimiratkaisu on joustava, käytötapaukseen mukautuva kuljetin, jonka nousukulma on säädettävä.

Mikäli esimerkiksi tilarajoitukset vaativat kuljettimesta lyhyen, jolloin tarvitaan ohjearvoa jyrkempi nousukulma tarvittavan korkeuden saavuttamiseksi, tulee tarkastella mahdollisia hihnavaihtoehtoja, rullakulmia, hihnanopeutta ja laitaratkaisuja.

Kuljettimen kuormitusasteella on myös suuri merkitys rollbackin kannalta. Lähes tyhjänä kulkeva hihna mahdollistaa kivien vierimisen alas kuljettimella. Kuljettimiin voisikin asentaa automaattisen nopeudensäädön esimerkiksi konenäön avulla. Tällöin jaksottaisen syötön ja materiaalin kokojakauman aiheuttaessa katkoja kuljettimen syötössä, voitaisiin kuljettimen nopeutta alentaa automaattisesti. Kun kuljettimelle taas tulee suuri määrä materiaalia, voitaisiin nopeutta taas nostaa. Manuaalisen nopeudensäädön kanssa nopeus joudutaan aina asettamaan suurimman kuormituksen mukaan.

Työssä suunnitellussa säädettävän kuljettimen rakenteissa on myös parantamisen varaa. Kuljettimen perän nostomekanismin suojauksesta ja levyrakenteesta on mahdollista jatkokehittää tässä työssä esiteltyä versiota parempi ratkaisu, kun siihen on käytössä enemmän suunnittelu-aikaa. Perän nostosylinterin kiinnitys on mahdollista toteuttaa paremmin ja mahdollisesti halvemmalla, käyttäen levyrakenteen sijaan kaupallisia komponentteja. Alarungon sivulevyissä on vielä reilusti parantamisen varaa, ja poikkitukiin saattaa löytyä neliöputkia parempi ratkaisu. Nostosylinterien alapään kiinnitysten levyrakenteesta on vielä hiomista. Myös kannattimista löytyy varmasti vielä parannettavaa. Rakenteista puuttuu useita kuumasinkitysreikiä, sekä pulttiliitosten sijoitus ja mitoitus ovat kesken. FEM-laskennan myötä rakenteeseen voidaan vielä suorittaa myöhempää optimointia.

10 YHTEENVETO

Työssä laadittiin tutkimus hihnakuuljetinten rollback-ongelman syistä, ja selvitettiin millä keinoilla ongelman ratkaiseminen onnistuu. Lopputuloksena selvisi, että ongelmaa aiheuttavia tekijöitä on useita. Näistä tärkein on kuljettimen nousukulma, jonka merkitys on hyvin suuri. Tämän lisäksi materiaalin asettumisella hihnalle on merkittävä vaikutus materiaalin vierimiseen.

Tutkimuksen tulosten myötä havaittiin, että nykyisiin tuotannossa oleviin kuljettimiin ei kannata alkaa suunnittelemaan ongelmaa lieventäviä ratkaisuja, vaikka tämä olikin asetettu opinnäytetyön tavoitteeksi. Sen sijaan työssä lähdettiin kehittämään nousukulmaltaan säädettävää hihnakuuljetinta, joka olisi aiempia kuljettimia joustavampi eri käyttötilanteisiin.

Työssä tutkittiin erilaisia mahdollisuuksia kulmansäädön toteuttamiseksi. Ideoista luotiin viisi erilaista luonnosta, joista yksi valittiin jatkokehittäväksi. Luonnoksen kehittämisen myötä saatiin muodostettua nousukulmaltaan säädettävän kuljettimen layout.

Lopuksi työssä suunniteltiin nousukulmaltaan säädettävän kuljettimen alarunko ja sen kiinnitykset koneen runkoon. Kulmansäädön lisäksi suunnittelussa otettiin huomioon lukuisia muitakin aiemmissa kuljettimissa havaittuja parannuskohteita.

LÄHTEET

Baer, B. 2018. How to Calculate the Angle of Repose. Luettu 17.3.2018.
<https://sciencing.com/calculate-angle-repose-6712029.html>

Dey, S. 2015. Mechanical and Electrical safeguards in Belt Conveyor systems. International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering. Volume: 2 Issue: 3, 81-91. Luettu 18.3.2018.
<http://www.ijrmee.org/download/1429163121.pdf>

Fenner-Dunlop. 2009. Conveyor Handbook. Suunnitteluopas. Luettu 5.3.2018.
http://www2.hcmuaf.edu.vn/data/dangnh/file/5_Fenner%20Dunlop_%202009_%20Conveyor%20Handbook.pdf

Metso Conveyor solutions handbook. 2017. Launch edition. Luettu 26.3.2018.
<https://www.metso.com/globalassets/saleshub/documents---episerver/brochure-cs-handbook-3423-012017-en.pdf>

Metso historia. 2018. Luettu 29.2.2018.
<https://www.metso.com/fi/yritys/metso-yrityksena/historia/#/897f28c3-f58e-4a79-8cc4-8fd88b0d1047>

Metso Lokotrack® Mobile crushing & screening plants. 2017. Luettu 5.3.2018.
<https://www.metso.com/globalassets/saleshub/documents---episerver/lokotrack-mobile-crusher-screen-plants-en-2930.pdf>

Metso lyhyesti. 2018. Luettu 28.2.2018.
<https://www.metso.com/fi/yritys/metso-yrityksena/metso-lyhyesti/>

Metso Vuosikatsaus 2017. 2018. Luettu 23.2.2018.
https://www.metso.com/siteassets/documents/2018/finnish/metso_2017_ar_fi.pdf

Metso yritys. 2018. Luettu 28.2.2018.
<https://www.metso.com/fi/yritys/>

Mäkelä, M., Soininen, T., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2014. Tekniikan kaavasto. 12. painos. Tammertekniikka. AMK-Kustannus Oy. Luettu 17.3.2018.

Savatech. 2018. Chevron conveyor belts. Luettu 28.2.2018.
<http://www.savatech.eu/conveyor-belts/chevron-conveyor-belts.html>

SFS-EN 620 + A1. 14.2.2011. Kuljetinlaitteet ja -järjestelmät. Turvallisuusvaatimukset ja sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevat vaatimukset. Massatavaran kuljetuksessa käytettävät kiinteät hihnakuljettimet. Standardi. Luettu 6.3.2018.

Somerpuro, T. 2017. Metson Tampereen-tehtaalle palkattiin sata työntekijää lisää ensimmäistä kertaa kahdeksaan vuoteen – uusia työntekijöitä haetaan yhä. Aamulehti. Artikkeli. Luettu 15.2.2018

<https://www.aamulehti.fi/kotimaa/metson-tampereen-tehtaalle-palkattiin-sata-tyontekijaa-lisaa-ensimmaista-kertaa-kehdeksaan-vuoteen-uusia-tyontekijoita-haetaan-yha-200272079/>

Swinderman, R., Marti, A., Goldberg, L., Marshall, D & Strebel, M. 2009. Foundations – The practical resource for cleaner, safer, more productive dust & material control. Fourth Edition. Worzalla Publishing Company, Stevens Point, Wisconsin, USA.

Tampereen toimintojen yleiskatsaus. 2018. PDF. Metso. Luettu 4.3.2018.

Törmä, M. 2015. LOKOMO – 100 vuotta konepaja- ja terästeollisuutta. Tampere: Hämeen Kirjapaino Oy.

[http://www.metso.com/corporation/ir_eng.nsf/WebWID/WTB-150520-2256F-56F2F/\\$File/Lokomo_100_vuotta_konepaja_ja_terasteollisuutta.pdf](http://www.metso.com/corporation/ir_eng.nsf/WebWID/WTB-150520-2256F-56F2F/$File/Lokomo_100_vuotta_konepaja_ja_terasteollisuutta.pdf)

Viilo, K. 2014. Crushing and screening handbook. Sixth edition. Hämeen Kirjapaino Oy. Luettu 7.3.2018.

LIITTEET

Liite 1. Taivutusvastuksen vertailulaskentaa

Taivutusvastuksen laskenta

1 (3)

100 x 100 mm neliöputki, 6mm seinämä

$$t := 6 \text{ mm}$$

$$B := 100 \text{ mm}$$

$$H := 100 \text{ mm}$$

$$b := B - (2 \cdot t) = 88 \text{ mm}$$

$$h := H - (2 \cdot t) = 88 \text{ mm}$$

Taivutusvastus

$$W_1 := \frac{B \cdot H^2}{6} - \frac{b \cdot h^3}{6 \cdot H} = 66717.44 \text{ mm}^3$$

Haetaan taivutusvastukseltaan vastaava suorakaideputki.

Seinämävahvuus 6 mm.

Valitaan leveydeksi 80mm, sillä se olisi rakenteeseen sopivin.

$$t := 6 \text{ mm}$$

$$B := 80 \text{ mm}$$

$$H := 120 \text{ mm}$$

$$b := B - (2 \cdot t) = 68 \text{ mm}$$

$$h := H - (2 \cdot t) = 108 \text{ mm}$$

$$W_2 := \frac{B \cdot H^2}{6} - \frac{b \cdot h^3}{6 \cdot H} = 73027.2 \text{ mm}^3$$

Vaihtoehtoinen toteutus on kantata tuki levystä, jolloin profiili on avoin.

Valitaan korkeudeksi 92mm, sillä se on rakenteeseen sopivin. Levyn paksuus on 12 mm.

$$t := 12 \text{ mm}$$

$$H := 92 \text{ mm}$$

$$B := 90 \text{ mm}$$

$$b := B - (t) = 78 \text{ mm}$$

$$h := H - (2 \cdot t) = 68 \text{ mm}$$

$$W_3 := \frac{1}{6} \cdot \frac{(B \cdot H^3 - b \cdot h^3)}{H} = 82529.3913 \text{ mm}^3$$

Osien pinta-alat

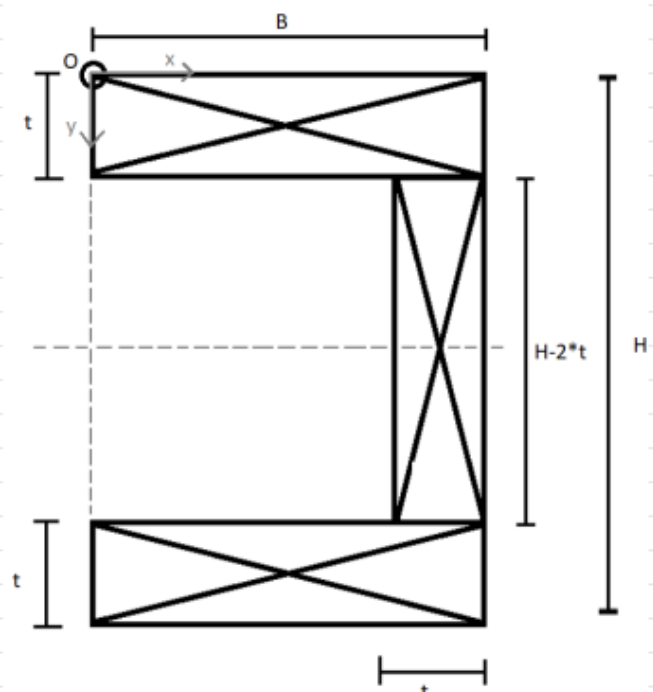
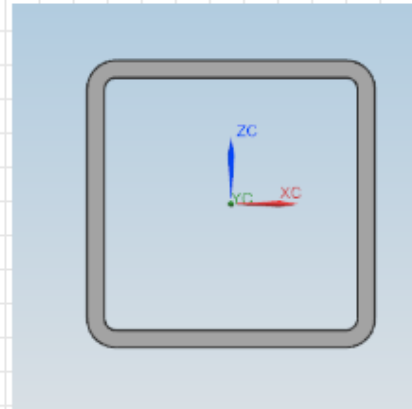
$$A_1 := B \cdot t = 1080 \text{ mm}^2$$

$$A_2 := (H - 2 \cdot t) \cdot t = 816 \text{ mm}^2$$

$$A_3 := B \cdot t = 1080 \text{ mm}^2$$

Poikkileikkauksen pinta-ala

$$A := A_1 + A_2 + A_3 = 2976 \text{ mm}^2$$



Osan A1 keskipisteen etäisyys origosta:

$$x_1 := \frac{B}{2} = 45 \text{ mm} \quad y_1 := \frac{t}{2} = 6 \text{ mm}$$

Osan A2 keskipisteen etäisyys origosta:

$$x_2 := B - \frac{t}{2} = 84 \text{ mm} \quad y_2 := \frac{H}{2} = 46 \text{ mm}$$

Osan A3 keskipisteen etäisyys origosta:

$$x_3 := \frac{B}{2} = 45 \text{ mm} \quad y_3 := H - \left(\frac{t}{2}\right) = 86 \text{ mm}$$

Staattiset momentit x- ja y-akselien suhteen

$$S_x := x_1 \cdot A_1 + x_2 \cdot A_2 + x_3 \cdot A_3 = 1.6574 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$S_y := y_1 \cdot A_1 + y_2 \cdot A_2 + y_3 \cdot A_3 = 1.369 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Pintakeskiön koordinaatit

$$x_0 := \frac{S_x}{A} = 55.6935 \text{ mm}$$

$$y_0 := \frac{S_y}{A} = 46 \text{ mm}$$

Lasketaan neliömomentit:

$$I_y := \left(\left(\frac{B \cdot t^3}{12} + (y_1 - y_0)^2 \cdot A_1 \right) + \left(\frac{t \cdot (H - (2 \cdot t))^3}{12} + (y_2 - y_0)^2 \cdot A_2 \right) + \left(\frac{B \cdot t^3}{12} + (y_3 - y_0)^2 \cdot A_3 \right) \right) = 3.7964 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_x := \left(\left(\frac{t \cdot B^3}{12} + (x_1 - x_0)^2 \cdot A_1 \right) + \left(\frac{(H - (2 \cdot t)) \cdot t^3}{12} + (x_2 - x_0)^2 \cdot A_2 \right) + \left(\frac{t \cdot B^3}{12} + (x_3 - x_0)^2 \cdot A_3 \right) \right) = 2.3686 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{xy} := ((x_1 - x_0) \cdot (y_1 - y_0) \cdot A_1) + ((x_2 - x_0) \cdot (y_2 - y_0) \cdot A_2) + ((x_3 - x_0) \cdot (y_3 - y_0) \cdot A_3) = 0$$

Pääkoordinaatiston suuntakulma:

$$\tan(2 \cdot \varphi) = -\frac{2 \cdot I_{xy}}{I_x - I_y} \quad I_{xy} := 0 \quad \varphi_2 := \left(\frac{-2 \cdot I_{xy}}{I_x - I_y} \right) \quad \varphi_2 = 0 \text{ deg}$$

$$\varphi := \frac{\varphi_2}{2} = 0 \text{ deg}$$

$$\text{Jos } I_{xy} \leq 0 \quad I_{xy} \cdot \sin(2 \cdot \varphi_2) = 0$$

$$\varphi_2 := \frac{\varphi_2}{2} + \frac{\pi}{2} = 90 \text{ deg}$$

Suuntakulma on 90 astetta.

Pääneliömomentit

$$I_k := \frac{1}{2} \cdot (I_x + I_y) = 3.0825 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$R := \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2} \right)^2 + I_{xy}^2} = 7.1387 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$I_1 := I_k + R = 3.7964 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

3 (3)

$$I_2 := I_k - R = 2.3686 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Lasketaan taivutusvastukset

+

1. pääsuuntaan:

$$W_{4.11} := \frac{I_1}{x_0} = 68165.0229 \text{ mm}^3 = \min$$

$$W_{4.12} := \frac{I_1}{B - x_0} = 110660.0019 \text{ mm}^3 = \max$$

$$W_1 = \frac{I_x}{a_1} \quad \text{ja} \quad W_2 = \frac{I_x}{a_2},$$

2. pääsuuntaan:

$$W_{4.2} := \frac{I_2}{\frac{H}{2}} = 51491.6634 \text{ mm}^3$$

Sama molempiin suuntiin symmetrisyyden vuoksi.

Liite 2. Nostomekanismin kuormitusten ja jännitysten laskentaa

Sylinterin ja lukituslevyjen kuormitukset

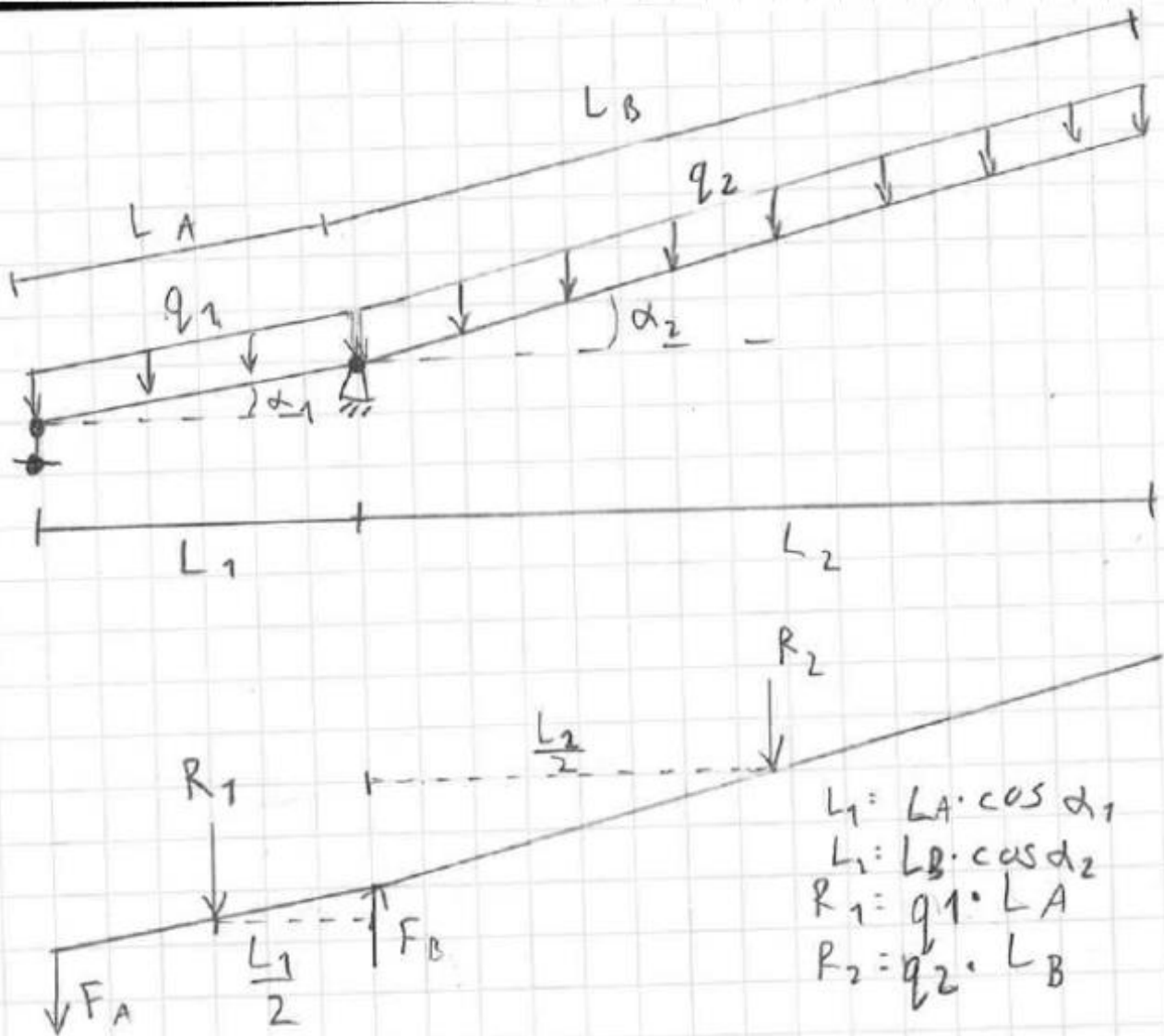
1 (10)

Sylinterin ja sen kiinnitysten kuormitukset

Oletetaan kuljettimen rungon puolikkaat jäykästi toisiinta kiinnitetyiksi.

Kuvataan runkoa palkkina, jossa massakuormitukset kohdistuvat tasaisesti rungon pituudelle.

Laskut toimivat lähinnä suuntaa-antavana suuruusluokkatarkasteluna.



Rungon puolikkaat on jäykästi yhdistetty toisiinsa, joten rakennetta ei jaeta kahteen osaan.

$$\downarrow + M_B = 0 : -R_2 \cdot \frac{L_2}{2} + R_1 \cdot \frac{L_1}{2} + F_A \cdot L_1 = 0$$

$$\Rightarrow F_A = \frac{R_2 \cdot \frac{L_2}{2} - R_1 \cdot \frac{L_1}{2}}{L_1}$$

$$\downarrow + \sum F = 0 : -F_B - F_A + R_1 + R_2 = 0$$

$$\Rightarrow F_B = -F_A + R_1 + R_2$$

1. Nousukulma 24 astetta:

$$L_A := 2000 \text{ mm} \quad \alpha_1 := 15^\circ \quad L_1 := \cos(\alpha_1) \cdot L_A = 1931.8517 \text{ mm} \quad m_1 := 500 \text{ kg} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$L_B := 8000 \text{ mm} \quad \alpha_2 := 24 \text{ deg} \quad L_2 := \cos(\alpha_2) \cdot L_B = 7308.3637 \text{ mm} \quad m_2 := 1100 \text{ kg}$$

Massakuormitukset:

$$q_1 := \frac{m_1 \cdot g}{L_A} = 2452.5 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad q_2 := \frac{m_2 \cdot g}{L_B} = 1348.875 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Tukireaktiot

Momentti pisteen B ympäri: $-q_2 \cdot L_B \cdot \frac{L_2}{2} + F_A \cdot L_1 + q_1 \cdot L_B \cdot \frac{L_1}{2} = 0$

$$\rightarrow F_A := \frac{q_2 \cdot L_B \cdot \frac{L_2}{2} - q_1 \cdot L_B \cdot \frac{L_1}{2}}{L_1} = 17959.1481 \text{ N}$$

Pystysuuntaiset voimat $-F_B + F_A + q_2 \cdot L_B + q_1 \cdot L_A = 0$

$$\rightarrow F_B := F_A + q_2 \cdot L_B + q_1 \cdot L_A = 33655.1481 \text{ N}$$

2. nousukulma 16 astetta:

$$\alpha_1 := 7^\circ \quad L_1 := \cos(\alpha_1) \cdot L_A = 1985.0923 \text{ mm} \quad q_2 \cdot L_B + q_1 \cdot L_A + F_A$$

$$\alpha_2 := 16 \text{ deg} \quad L_2 := \cos(\alpha_2) \cdot L_B = 7690.0936 \text{ mm}$$

Tukireaktiot

Momentti pisteen B ympäri: $-q_2 \cdot L_B \cdot \frac{L_2}{2} + F_A \cdot L_1 + q_1 \cdot L_A \cdot \frac{L_1}{2} = 0$

$$\rightarrow F_A := \frac{q_2 \cdot L_B \cdot \frac{L_2}{2} - q_1 \cdot L_A \cdot \frac{L_1}{2}}{L_1} = 18449.2484 \text{ N}$$

Pystysuuntaiset voimat $-F_B + F_A + q_2 \cdot L_B + q_1 \cdot L_A = 0$

$$\rightarrow F_B := F_A + q_2 \cdot L_B + q_1 \cdot L_A = 34145.2484 \text{ N}$$

Tapaus 3. latva nostettuna lähes pystyyn

$$\alpha_1 := 5 \text{ deg} \quad L_1 := \cos(\alpha_1) \cdot L_A = 1992.3894 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 := 85^\circ \quad L_2 := \cos(\alpha_2) \cdot L_B = 697.2459 \text{ mm}$$

Momentti pisteen B ympäri: $-q_2 \cdot L_B \cdot \frac{L_2}{2} + F_A \cdot L_1 + q_1 \cdot L_A \cdot \frac{L_1}{2} = 0$

$$F_A := \frac{q_2 \cdot L_B \cdot \frac{L_2}{2} - q_1 \cdot L_A \cdot \frac{L_1}{2}}{L_1} = -564.3197 \text{ N}$$

Pystysuuntaiset voimat $-F_B + F_A + q_2 \cdot L_B + q_1 \cdot L_A = 0$

$$F_B := F_A + q_2 \cdot L_B + q_1 \cdot L_A = 15131.68034 \text{ N}$$

4: nousukulma 16 astetta, vetorummulla 200kg pistekuormitus

$$\alpha_1 := 7^\circ \quad L_1 := \cos(\alpha_1) \cdot L_A = 1985.0923 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 := 16 \text{ deg} \quad L_2 := \cos(\alpha_2) \cdot L_B = 7690.0936 \text{ mm}$$

Massakuormitus:

$$F := 200 \text{ kg} \cdot g = 1962 \text{ N}$$

Tukireaktiot

Momentti pisteen B ympäri: $-q_2 \cdot L_2 \cdot \frac{L_2}{2} + F_A \cdot L_1 + q_1 \cdot L_1 \cdot \frac{L_1}{2} = 0$

$$\rightarrow F_A := \frac{q_2 \cdot L_2 \cdot \frac{L_2}{2} + F \cdot L_2 - q_1 \cdot L_1 \cdot \frac{L_1}{2}}{L_1} = 25258.4664 \text{ N}$$

Pystysuuntaiset voimat $-F_B + F_A + q_2 \cdot L_B + q_1 \cdot L_A = 0$

$$\rightarrow F_B := F_A + q_2 \cdot L_B + q_1 \cdot L_A = 40954.4664 \text{ N}$$

Neljännessä tilanteessa saadaan suurimmat kuormitukset kumpaakin tukeen.

$$F_{Amax} := F_A = 25258.4664 \text{ N}$$

$$F_{Bmax} := F_B = 40954.4664 \text{ N}$$

Sylinterin kiinnityslevyjen jännitystarkastelu

1. Valitaan rasitukseksi suurin kuormitus, eli tapaus 4. Voima jakautuu kahteen levyyn.

Lovenmuotolukuja

Vetävä voima $P := \frac{F_{Amax}}{2} = 12629.2332 \text{ N}$

Myötöraja $R_e := 235 \text{ MPa}$

Sylinterin alapuolinen kiinnitys

Levyn mitat:

leveys $b := 100 \text{ mm}$

paksuus $h := 8 \text{ mm}$

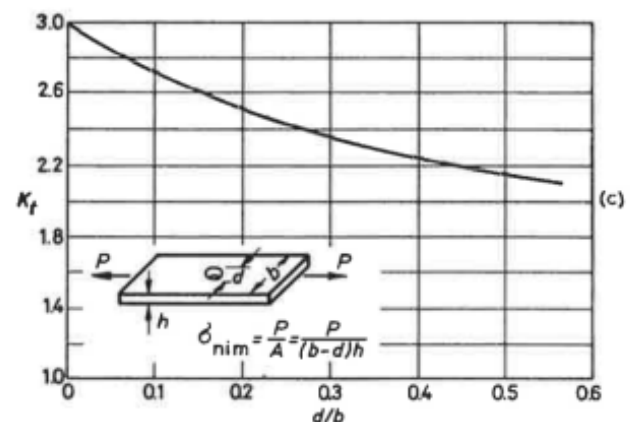
loven halkaisija $d := 30 \text{ mm}$

leveys loven kohdalla $B := b - d = 70 \text{ mm}$

loven halkaisijan ja levyn leveyden suhde $\frac{d}{b} = 0.3$

Lovenmuotoluku $K_f := 2.35$

Nimellisjännitys $\sigma_{nim} := \frac{P}{B \cdot h} = 22.5522 \text{ MPa}$



(Koski, J., Outinen, H., Salmi, T. Lujusopin perusteet. 2000. s. 536) Klingendahl Paino Oy, Tampere

Maksimijännitys

$$\sigma_{\max} := \sigma_{\text{nim}} \cdot K_f = 52.9977 \text{ MPa}$$

4 (10)

varmuuskerroin

$$n := \frac{R_e}{\sigma_{\max}} = 4.4342$$

Sylinterin yläpuolinen kiinnitys

Levyn mitat ovat tässä vaiheessa samat kuin alapuolisen kiinnityksen levyt.

Levyn mitat:

leveys $b := 100 \text{ mm}$ paksuus $h := 8 \text{ mm}$ loven halkaisija $d := 30 \text{ mm}$ leveys loven kohdalla $B := b - d = 70 \text{ mm}$ loven halkaisijan ja levyn leveyden suhde $\frac{d}{b} = 0.3$ Lovenmuotoluku $K_f := 2.35$

Nimellisjännitys

$$\sigma_{\text{nim}} := \frac{P}{B \cdot h} = 22.5522 \text{ MPa}$$

Maksimijännitys

$$\sigma_{\max} := \sigma_{\text{nim}} \cdot K_f = 52.9977 \text{ MPa}$$

varmuuskerroin

$$n := \frac{R_e}{\sigma_{\max}} = 4.4342$$

2. Valitaan rasitukseksi sylinterin maksimivoima. Voima jakautuu kahteen levyyn.

Vetävä voima $P := \begin{bmatrix} 37000 \text{ N} \\ 49000 \text{ N} \end{bmatrix}$ veto
työntö

Myötöraja $R_e := 235 \text{ MPa}$ **Sylinterin alapuolinen kiinnitys**

Levyn mitat:

leveys $b := 100 \text{ mm}$ paksuus $h := 8 \text{ mm}$ loven halkaisija $d := 30 \text{ mm}$ leveys loven kohdalla $B := b - d = 70 \text{ mm}$ loven halkaisijan ja levyn leveyden suhde $\frac{d}{b} = 0.3$ Lovenmuotoluku $K_f := 2.35$

Nimellisjännitys

$$\sigma_{\text{nim}} := \frac{P}{B \cdot h} = \begin{bmatrix} 66.0714 \\ 87.5 \end{bmatrix} \text{ MPa}$$

Maksimijännitys

$$\sigma_{\max} := \sigma_{\text{nim}} \cdot K_f = \begin{bmatrix} 155.2679 \\ 205.625 \end{bmatrix} \text{ MPa}$$

varmuuskerroin

$$n_{\text{veto}} := \frac{R_e}{\sigma_{\max 1}} = 1.5135 \quad n_{\text{työntö}} := \frac{R_e}{\sigma_{\max 2}} = 1.1429$$

Sylinterin yläpuolinen kiinnitys

Levyn mitat ovat tässä vaiheessa samat kuin alapuolisen kiinnityksen levyt.

Levyn mitat:

leveys	$b := 100 \text{ mm}$
paksuus	$h := 8 \text{ mm}$
loven halkaisija	$d := 30 \text{ mm}$
leveys loven kohdalla	$B := b - d = 70 \text{ mm}$

loven halkaisijan ja levyn leveyden suhde $\frac{d}{b} = 0.3$

Lovenmuotoluku $K_f := 2.35$

Nimellisjännitys

$$\sigma_{nim} := \frac{P}{B \cdot h} = \left[\begin{array}{c} 66.0714 \\ 87.5 \end{array} \right] \text{ MPa}$$

Maksimijännitys

$$\sigma_{max} := \sigma_{nim} \cdot K_f = \left[\begin{array}{c} 155.2679 \\ 205.625 \end{array} \right] \text{ MPa}$$

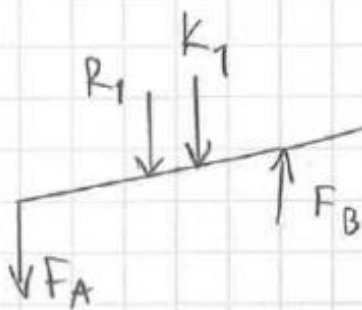
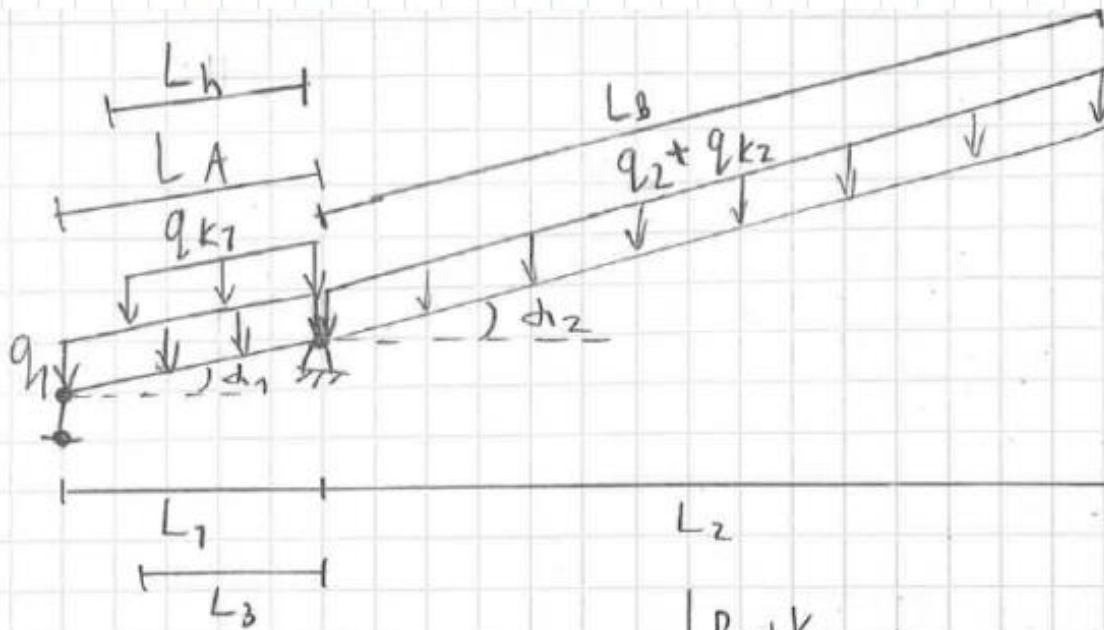
varmuuskerroin

$$n_{veto} := \frac{R_e}{\sigma_{max_1}} = 1.5135 \quad n_{työntö} := \frac{R_e}{\sigma_{max_2}} = 1.1429$$

Rakenne kestää siis myös virheellisen käytön, jossa kuljetinta nostetaan rakenteen liikkeen ollessa estynyt.

Lukituslevyjen kuormitus

Sylinterin kuormituksen laskennassa ei otettu huomioon kuljetettavaa materiaalia. Lukituslevyt kantavat kuljettimen massan lisäksi myös kuljetettavan kiven massan. Laskuissa kuormitukseksi asetettiin ylikuormitustilanne, jossa kuljetin on täynnä kiveä. Laskut toimivat lähinnä suuntaa-antavana suuruusluokkatarkasteluna.



Lastausalueen pituus $L_h = \frac{3}{4} \cdot L_A$

$$L_1 = L_A \cdot \cos \alpha_1$$

$$L_2 = L_B \cdot \cos \alpha_2$$

$$R_1 = q_1 \cdot L_A$$

$$R_2 = q_2 \cdot L_B$$

$$K_1 = q_{k1} \cdot L_h$$

$$K_2 = q_{k2} \cdot L_B$$

$$L_3 = L_h \cdot \cos \alpha_1$$

$$\sum M_B = 0: F_A \cdot L_1 + R_1 \cdot \frac{L_1}{2} + K_1 \cdot \frac{L_3}{2} - (R_2 + K_2) \cdot \frac{L_2}{2} = 0$$

$$\Rightarrow F_A = \frac{(R_2 + K_2) \cdot \frac{L_2}{2} - R_1 \cdot \frac{L_1}{2} - K_1 \cdot \frac{L_3}{2}}{L_1}$$

$$\sum F = 0: F_A + R_1 + K_1 - F_B + R_2 + K_2 = 0$$

$$\Rightarrow F_B = F_A + R_1 + K_1 + R_2 + K_2$$

1. Nousukulma 24 astetta, koko kuljetin maksimikuormitettu kivellä:

$$\alpha_1 := 15^\circ \quad L_1 := \cos(\alpha_1) \cdot L_A = 1931.8517 \text{ mm} \quad m_1 := 500 \text{ kg} \quad g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\alpha_2 := 24 \text{ deg} \quad L_2 := \cos(\alpha_2) \cdot L_B = 7308.3637 \text{ mm} \quad m_2 := 1100 \text{ kg}$$

Kiven aiheuttama kuormitus

$$\text{Kiviaineen massavirta} \quad m_v := 1400 \frac{\text{t}}{\text{h}} \quad m_v := \frac{1400}{3.6} \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 388.8889 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{Hihnan kiveä kuljettavan osion pituus} \quad L_k := 9500 \text{ mm}$$

$$\text{Hihnanopeus} \quad v := 1.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Kuljettimella olevan kiviaineen massa} \quad m_k := \frac{m_v \cdot L_k}{v} = 2052.4691 \text{ kg}$$

Massa jakaantuu ala- ja ylälohkoille tasaisesti.

$$m_{k1} := m_k \cdot \frac{1.5}{9.5} = 324.0741 \text{ kg} \quad m_{k2} := m_k \cdot \frac{(9.5 - 1.5)}{9.5} = 1728.3951 \text{ kg}$$

$$L_h := \frac{3}{4} \cdot L_A = 1500 \text{ mm} \quad L_3 := \cos(\alpha_1) \cdot L_h = 1448.8887 \text{ mm}$$

$$q_{k1} := \frac{m_{k1} \cdot g}{L_h} = 2119.4444 \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad q_{k2} := \frac{m_{k2} \cdot g}{L_B} = 2119.4444 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Tukireaktiot

$$\text{Momentti pisteen B ympäri:} \quad F_A \cdot L_1 + q_1 \cdot L_A \cdot \frac{L_1}{2} + q_{k1} \cdot L_h \cdot \frac{L_3}{2} - (q_2 + q_{k2}) \cdot L_B \cdot \frac{L_2}{2} = 0$$

$$\rightarrow F_A := \frac{(q_2 + q_{k2}) \cdot L_B \cdot \frac{L_2}{2} - q_1 \cdot L_A \cdot \frac{L_1}{2} - q_{k1} \cdot L_h \cdot \frac{L_3}{2}}{L_1} = 48839.135 \text{ N}$$

$$\text{Pystysuuntaiset voimat} \quad F_A + q_1 \cdot L_A + q_{k1} \cdot L_h - F_B + (q_2 + q_{k2}) \cdot L_B = 0$$

$$\rightarrow F_B := F_A + q_1 \cdot L_A + q_{k1} \cdot L_h + (q_2 + q_{k2}) \cdot L_B = 84669.8572 \text{ N}$$

2. Nousukulma 24 astetta, lastausalue on tyhjentynyt, latva täysin kuormitettu kivellä.

$$q_{k1} := 0$$

Tukireaktiot

$$\text{Momentti pisteen B ympäri:} \quad F_A \cdot L_1 + q_1 \cdot L_A \cdot \frac{L_1}{2} + q_{k1} \cdot L_h \cdot \frac{L_3}{2} - (q_2 + q_{k2}) \cdot L_B \cdot \frac{L_2}{2} = 0$$

$$\rightarrow F_A := \frac{(q_2 + q_{k2}) \cdot L_B \cdot \frac{L_2}{2} - q_1 \cdot L_A \cdot \frac{L_1}{2} - q_{k1} \cdot L_h \cdot \frac{L_3}{2}}{L_1} = 50031.3225 \text{ N}$$

$$\text{Pystysuuntaiset voimat} \quad F_A + q_1 \cdot L_A + q_{k1} \cdot L_h - F_B + (q_2 + q_{k2}) \cdot L_B = 0$$

$$\rightarrow F_B := F_A + q_1 \cdot L_A + q_{k1} \cdot L_h + (q_2 + q_{k2}) \cdot L_B = 82682.878 \text{ N}$$

3. Nousukulma 16 astetta, koko kuljetin maksimikuormitettu kivellä:

8 (10)

$$\alpha_1 := 7^\circ \quad L_1 := \cos(\alpha_1) \cdot L_A = 1985.0923 \text{ mm} \quad L_3 := \cos(\alpha_1) \cdot L_h = 1448.8887 \text{ mm}$$

$$\alpha_2 := 16 \text{ deg} \quad L_2 := \cos(\alpha_2) \cdot L_B = 7690.0936 \text{ mm} \quad q_{k1} := \frac{m_{k1} \cdot g}{L_h} = 2119.4444 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Tukireaktiot

Momentti pisteen B ympäri:

$$F_A \cdot L_1 + q_1 \cdot L_A \cdot \frac{L_1}{2} + q_{k1} \cdot L_h \cdot \frac{L_3}{2} - (q_2 + q_{k2}) \cdot L_B \cdot \frac{L_2}{2} = 0$$

$$\rightarrow F_A := \frac{(q_2 + q_{k2}) \cdot L_B \cdot \frac{L_2}{2} - q_1 \cdot L_A \cdot \frac{L_1}{2} - q_{k1} \cdot L_h \cdot \frac{L_3}{2}}{L_1} = 50131.289 \text{ N}$$

Pystysuuntaiset voimat

$$F_A + q_1 \cdot L_A + q_{k1} \cdot L_h - F_B + (q_2 + q_{k2}) \cdot L_B = 0$$

$$\rightarrow F_B := F_A + q_1 \cdot L_A + q_{k1} \cdot L_h + (q_2 + q_{k2}) \cdot L_B = 85962.0112 \text{ N}$$

4. Nousukulma 16 astetta, lastausalue on tyhjentynyt, latva täysin kuormitettu kivellä.

$$q_{k1} := 0$$

Tukireaktiot

Momentti pisteen B ympäri:

$$F_A \cdot L_1 + q_1 \cdot L_A \cdot \frac{L_1}{2} + q_{k1} \cdot L_h \cdot \frac{L_3}{2} - (q_2 + q_{k2}) \cdot L_B \cdot \frac{L_2}{2} = 0$$

$$\rightarrow F_A := \frac{(q_2 + q_{k2}) \cdot L_B \cdot \frac{L_2}{2} - q_1 \cdot L_A \cdot \frac{L_1}{2} - q_{k1} \cdot L_h \cdot \frac{L_3}{2}}{L_1} = 51291.5017 \text{ N}$$

Pystysuuntaiset voimat

$$F_A + q_1 \cdot L_A + q_{k1} \cdot L_h - F_B + (q_2 + q_{k2}) \cdot L_B = 0$$

$$\rightarrow F_B := F_A + q_1 \cdot L_A + q_{k1} \cdot L_h + (q_2 + q_{k2}) \cdot L_B = 83943.0573 \text{ N}$$

Tukien suurimmat kuormitukset:

$$F_{Amax} := F_A = 51291.5017 \text{ N} \quad F_{Bmax} := 85962 \text{ N}$$

Lukituslevyjen jännitystarkastelu

Valitaan rasitukseksi suurin kuormitus, eli tapaus 4. Voima jakautuu kahteen levyyn.

Vetävä voima

$$P := \frac{F_{Amax}}{2} = 25645.7509 \text{ N}$$

Levyn mitat:

leveys

$$b := 80 \text{ mm}$$

paksuus

$$h := 16 \text{ mm}$$

loven halkaisija (yläpuolinen lovi)

$$d := 30 \text{ mm}$$

leveys loven kohdalla

$$B := b - d = 50 \text{ mm}$$

loven halkaisijan ja levyn leveyden suhde

$$\frac{d}{b} = 0.375$$

Lovenmuotoluku

$$K_f := 2.3$$

Nimellisjännitys

$$\sigma_{nim} := \frac{P}{B \cdot h} = 32.0572 \text{ MPa}$$

Maksimijännitys

$$\sigma_{max} := \sigma_{nim} \cdot K_f = 73.7315 \text{ MPa}$$

varmuuskerroin

$$n := \frac{R_e}{\sigma_{max}} = 3.1872$$

loven halkaisija (alapuoleiset lovet)

$$d := 26 \text{ mm}$$

leveys loven kohdalla

$$B := b - d = 54 \text{ mm}$$

loven halkaisijan ja levyn leveyden suhde

$$\frac{d}{b} = 0.325$$

Lovenmuotoluku

$$K_f := 2.375$$

Nimellisjännitys

$$\sigma_{nim} := \frac{P}{B \cdot h} = 29.6826 \text{ MPa}$$

Maksimijännitys

$$\sigma_{max} := \sigma_{nim} \cdot K_f = 70.4961 \text{ MPa}$$

varmuuskerroin

$$n := \frac{R_e}{\sigma_{max}} = 3.3335$$

Lukituslevyjen yläpuoliset kiinnityslevyt

Voima jakautuu neljään levyyn.

Vetävä voima $P := \frac{F_A}{4} = 12822.8754 \text{ N}$

Levyn mitat:

leveys

$$b := 100 \text{ mm}$$

paksuus

$$h := 8 \text{ mm}$$

loven halkaisija

$$d := 30 \text{ mm}$$

leveys loven kohdalla

$$B := b - d = 70 \text{ mm}$$

loven halkaisijan ja levyn leveyden suhde

$$\frac{d}{b} = 0.3$$

Lovenmuotoluku

$$K_f := 2.35$$

Nimellisjännitys

$$\sigma_{nim} := \frac{P}{B \cdot h} = 22.898 \text{ MPa}$$

Maksimijännitys

$$\sigma_{max} := \sigma_{nim} \cdot K_f = 53.8103 \text{ MPa}$$

varmuuskerroin

$$n := \frac{R_e}{\sigma_{max}} = 4.3672$$

Lukituslevyjen alapuoliset kiinnityslevyt

Voima jakautuu neljään levyyn.

Vetävä voima $P := \frac{F_A}{4} = 12822.8754 \text{ N}$

Levyn mitat:

leveys

$$b := 100 \text{ mm}$$

paksuus

$$h := 12 \text{ mm}$$

loven halkaisija

$$d := 26 \text{ mm}$$

leveys loven kohdalla

$$B := b - d = 74 \text{ mm}$$

loven halkaisijan ja levyn leveyden suhde

$$\frac{d}{b} = 0.26$$

Lovenmuotoluku

$$K_f := 2.4$$

Nimellisjännitys

$$\sigma_{nim} := \frac{P}{B \cdot h} = 14.4402 \text{ MPa}$$

Maksimijännitys

$$\sigma_{max} := \sigma_{nim} \cdot K_f = 34.6564 \text{ MPa}$$

varmuuskerroin

$$n := \frac{R_s}{\sigma_{max}} = 6.7809$$